

**UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**  
**Faculdade de Ciências e Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial**

*Sincronização da Cadeia de Valor através da  
Integração da Teoria das Restrições e Produção Lean*

Maria Zita Ramalhinho Ginja Ramos

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Industrial

Orientador: Professora Doutora Alexandra Tenera

Lisboa

2010

## **Agradecimentos**

À orientadora Professora Doutora Alexandra Tenera, pela motivação, pelo acompanhamento e sugestões na realização desta dissertação;

Aos colegas da Delphi que directa ou indirectamente contribuíram para a realização desta dissertação;

A todos os familiares e amigos que me incentivaram a realizar este trabalho.



## Resumo

Numa cadeia de valor onde vários produtos têm equipamentos dedicados e outros partilhados é importante conhecer a capacidade de cada processo e identificar a restrição, de modo a obter os melhores resultados no sistema.

Integrando a Teoria das Restrições (TOC) e a Produção *Lean* desenvolveu-se um modelo para sincronização da cadeia de valor de um sistema de produção. O modelo proposto foi aplicado para nivelar a produção de um sistema de vazamento (equipamento monumento) partilhado por todos os produtos da cadeia de valor. O estudo realizado possibilitou a integração da TOC e da Produção *Lean* para criar a programação de produção num equipamento com sete horas de tempo de processamento para produção das peças certas na quantidade certa para serem enviadas no momento exacto para os diferentes clientes.

Os resultados do modelo permitiram sincronizar o fluxo produtivo para cada produto com reduções de inventários, reduções de tempos de processamento e melhoria da estabilidade da produção mas mantendo-se flexível para permitir alterações caso sejam necessárias.

## Abstract

On a value stream where several products have dedicated and common equipments it's important to understand the capacity of which process and identify the main constraint of the value stream in order to obtain the best performance of the system.

Incorporating Theory of Constraints (TOC) and the *Lean* tools for manufacturing systems a model was developed to synchronize a value stream. The proposed model was applied to level the production on the main constraint, a potting system (monument equipment) shared between all the value stream products that requires the right parts on the right quantity needed to load the system.

The study developed clarify how Theory of Constraints and the *Lean* principles were integrated to create the right production sequence on an equipment with seven hours of lead time to have the right parts on the right quantity to be delivered on the right time to several different costumers.

The results were a synchronized flow for each model with the reduction of inventories and lead times improving the stability of leveled production but at the same time flexible enough to incorporate changes if needed.

## Abreviaturas

5S	Cinco Passos para Organização e Controlo do Ambiente de Trabalho
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i> Análise de Variância
CF	<i>Cash Flow</i> Fluxo Monetário
CM	<i>Constraint Management</i> Gestão das Restrições
CONWIP	<i>Constant Work In Process</i> Trabalho em Processamento Constante
Cp, Cpk	Índices de Capabilidade do Processo
CRD	<i>Conflit Resolution Diagram</i> Diagrama de Resolução de Conflitos
CRT	<i>Current Reality Tree</i> Árvore da Realidade Actual
DBR	<i>Drum-Buffer-Rope</i> Tambor-Reserva-Corda
DMAIC	<i>Define-Measure-Analyze-Improve-Control</i> Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar
ECE	Diagrama Efeito-Causa-Efeito
EDD	<i>Earliest Due Date</i> Data de Entrega Mais Cedo
FIFO	<i>First In First Out</i> Primeiro a Entrar Primeiro a Sair

FRT	<i>Future Reality Tree</i>
	Árvore da Realidade Futura
FRT	<i>Future Reality Tree</i>
	Árvore da Realidade Futura
FTQ	<i>First Time Quality</i>
	Produzir Bem à Primeira
JIT	<i>Just In Time</i>
	Justamente a Tempo
NP	<i>Net Profit</i>
	Lucro Líquido
OE	<i>Operating Expense</i>
	Despesas Operacionais
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
	Eficiência Global do Equipamento
PFMEA	<i>Process Failure Mode and Effects Analysis</i>
	Análise dos Modos de Falha e Efeitos no Processo
PRT	<i>Prerequisite Tree</i>
	Árvore de Pré-Requisitos
ROI	<i>Return of Investment</i>
	Rendibilidade do Investimento
R&R	<i>Repeatability and Reproducibility</i>
	Repetitividade e Reprodutibilidade
SA	<i>Schedule Attainment</i>
	Cumprimento da Programação
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
	Mudança de ferramentas num minuto

SPT	<i>Shortest Processing Time</i> Tempo de Processamento Mais Curto
SWC	<i>Ship Window Compliance</i> Cumprimento de Envios
TOC	<i>Theory of Constraints</i> Teoria das Restrições
TP	<i>Thinking Process</i> Processo de Reflexão
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> Manutenção Productiva Total
TPS	<i>Toyota Production System</i> Sistema de Produção Toyota
TQC	<i>Total Quality Control</i> Controlo Total da Qualidade
TQM	<i>Total Quality Management</i> Gestão pela Qualidade Total
TT	<i>Transition Tree</i> Árvore de Transição
VAT	Classificação dos tipos de fluxo de produção
WIP	<i>Work In Process</i> Trabalho em Processamento
UIC	<i>Ultimate Improvement Cycle</i> Último Ciclo de Melhoria



---

## Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Objectivos do Estudo.....	2
1.3	Metodologia de Investigação .....	2
1.4	Estrutura da Dissertação .....	4
2	Metodologias para a Melhoria Contínua .....	5
2.1	A Teoria das Restrições.....	8
2.1.1	O Processo de Reflexão .....	10
2.1.2	Os Cinco Passos de Focalização .....	10
2.2	A Produção <i>Lean</i> .....	16
2.2.1	O Sistema de Produção da Toyota (TPS) e o Pensamento <i>Lean</i> .....	17
2.2.2	Princípios do Pensamento <i>Lean</i> e o Sistema <i>Pull</i> .....	22
2.3	Integração das Metodologias <i>Lean</i> e Seis Sigma .....	28
2.4	Integração das Metodologias TOC e <i>Lean</i> e Seis Sigma na Sincronização da Cadeia de Valor .....	31
3	Modelo de Integração das Metodologias TOC e <i>Lean</i> na Cadeia de Valor .....	37
3.1	Definir, Compreender e Avaliar o Sistema .....	39
3.1.1	Programação da Produção .....	39
3.1.2	Análise ABC de Produção .....	40
3.1.3	Nivelamento dos Pedidos do Cliente .....	42
3.1.4	Tempos de Processamento .....	42
3.2	Identificar e Explorar a Restrição .....	45
3.2.1	Identificar a Restrição .....	45
3.2.2	Explorar a Restrição .....	45
3.2.3	Nivelamento e Sequenciamento da Produção .....	47

---

3.3	Subordinar o Sistema à Restrição .....	51
3.3.1	Aplicação do DBR à Cadeia de Valor .....	51
3.3.2	Dimensionamento de Inventários Intermédios .....	53
3.4	Elevar a Restrição .....	61
4	Aplicação do Modelo Proposto para a Sincronização de uma Cadeia de Valor .....	62
4.1	Definir, Compreender e Avaliar o Sistema .....	65
4.2	Identificar a Restrição .....	70
4.3	Explorar a Restrição .....	73
4.4	Subordinar o Sistema à Restrição .....	77
4.5	Elevar a Restrição .....	81
4.6	Análise de Resultados .....	81
5	Conclusões do Estudo e Recomendações.....	84
6	Referências Bibliográficas .....	86
Anexos	.....	89
Anexo I	.....	89
Anexo II	.....	94

## Índice de Figuras

Figura 1.1-Principais Passos no Desenvolvimento da Dissertação .....	3
Figura 2.1-Evolução Cronológica das Metodologias de Produção .....	6
Figura 2.2- Ciclo de Melhoria da Teoria das Restrições .....	11
Figura 2.3- Ferramentas Lógicas Integradas no Processo de Reflexão .....	12
Figura 2.4- O Sistema DBR .....	16
Figura 2.5-Elementos Chave do “Toyota Way” .....	19
Figura 2.6-Modelo de uma Organização <i>Lean</i> Sustentável.....	20
Figura 2.7-Eliminação do Desperdício .....	21
Figura 2.8-Ciclo <i>Kaizen</i> .....	22
Figura 2.9-Ciclo de Melhoria <i>Lean</i> .....	24
Figura 2.10- Tempo de Ciclo.....	25
Figura 2.11- Tempo de Valor Acrescentado.....	25
Figura 2.12- Tempo de Processamento .....	26
Figura 2.13-Localização dos Inventários Intermédios .....	28
Figura 2.14-Ciclo de Melhoria Seis Sigma DMAIC .....	29
Figura 2.15- Contribuição para a Redução de Custos.....	33
Figura 2.16- Número de Publicações TOC .....	36
Figura 3.1- Modelo para Aplicação Integrada das Metodologias TOC e <i>Lean</i> .....	37
Figura 3.2- Modelo Detalhado de Aplicação da Integração das Metodologias TOC e <i>Lean</i> .....	38
Figura 3.3- Construção do Plano de Produção Semanal .....	39
Figura 3.4- Exemplo de Nivelamento da Produção .....	42
Figura 3.5-Tempos de Processamento na Cadeia de Valor .....	43
Figura 3.6- Regulador de Produção da Cadeia de Valor .....	47
Figura 3.7- Sistema de Gestão dos <i>Buffers</i> DBR .....	52
Figura 3.8- Fluxo Produtivo até ao Processo Restrição M3 .....	55
Figura 3.9- Gráfico para Controlo de Inventário .....	61
Figura 4.1- <i>Layout</i> da Fábrica do Seixal.....	62
Figura 4.2- Principais Componentes de Pencil Coil .....	63
Figura 4.3- Produtos da Cadeia de Valor dos <i>Pencil Coils</i> .....	64
Figura 4.4- Sequência do Processo Produtivo dos <i>Pencil Coils</i> .....	64
Figura 4.5- Mapa de Ligações Actual da Cadeia de Valor dos <i>Pencil Coils</i> .....	66
Figura 4.6- Distribuição da Procura pelos Produtos da Família dos <i>Pencil Coils</i> .....	68
Figura 4.7- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de PCCPDA .....	69

Figura 4.8- Tempo de Processamento de PCCPDA .....	69
Figura 4.9- Tempo de Processamento dos Sub-Processos da <i>Potter Coil</i> .....	70
Figura 4.10-Layout e Fluxo de Material no Sistema da <i>Potter Coil</i> .....	71
Figura 4.11- Tempo de Produção Diário do Sistema da <i>Potter Coil</i> em 2010 .....	72
Figura 4.12- Sequenciamento da Produção.....	76
Figura 4.13- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de PCC PDA com DBR .....	78
Figura 4.14- Tempo de Processamento de PCC PDA com DBR .....	78
Figura 4.15- Tempo de Produção Diário do Sistema da <i>Potter Coil</i> entre 2010 e 2016.....	81
Figura 4.16- Mapa de Ligações da Cadeia de Valor de <i>Pencil Coils</i> depois da aplicação do modelo.....	83
Figura A.I.0.1- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC N55.....	89
Figura A.I.0.2- Tempo de Processamento de SPC N55 .....	89
Figura A.I.0.3-Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC Prince .....	90
Figura A.I.0.4-Tempo de Processamento de SPC Prince .....	90
Figura A.I.0.5- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC Itelma.....	91
Figura A.I.0.6- Tempo de Processamento de SPC Itelma.....	91
Figura A.I.0.7- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de PCC PSA .....	92
Figura A.I.0.8- Tempo de Processamento de PCC PSA .....	92
Figura A.I.0.9- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC ES9.....	93
Figura A.I.0.10- Tempo de Processamento de SPC ES9.....	93
Figura A.II.0.1- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC N55 com DBR.....	94
Figura A.II.0.2-Tempo de Processamento de SPC N55 com DBR .....	94
Figura A.II.0.3- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC Prince com DBR ....	95
Figura A.II.0.4-Tempo de Processamento de SPC Prince com DBR .....	95
Figura A.II.0.5- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC Itelma com DBR.....	96
Figura A.II.0.6- Tempo de Processamento de SPC Itelma com DBR.....	96
Figura A.II.0.7- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de PCC PSA com DBR .....	97
Figura A.II.0.8- Tempo de Processamento de PCC PSA com DBR .....	97
Figura A.II.0.9- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC ES9 com DBR.....	98
Figura A.II.0.10- Tempo de Processamento de SPC ES9 com DBR.....	98

## Índice de Quadros

Quadro 2.1- Perspectivas da Teoria das Restrições .....	9
Quadro 2.2- Os Sete Desperdícios .....	23
Quadro 2.3- Comparação das Metodologias <i>Lean</i> e Seis Sigma .....	31
Quadro 2.4- Comparação das Metodologias de Melhoria Contínua .....	34
Quadro 2.5- Semelhanças entre TOC e <i>Lean</i> .....	34
Quadro 2.6- Diferenças entre TOC e <i>Lean</i> .....	35
Quadro 3.1- Opções de Manter Inventário de Produto Final .....	41
Quadro 3.2- Cálculo da Quantidade Máxima de Inventário de Produto Final .....	41
Quadro 4.1- Tempo de Ciclo dos Sub-Processos da <i>Potter Coil</i> .....	72
Quadro 4.2- Nivelamento Diário da Produção .....	75
Quadro 4.3- Número de Lotes Semanal por Produto .....	75
Quadro 4.4- Método RC para Sequenciamento da Produção .....	77
Quadro 4.5- <i>Buffers</i> Temporais .....	79
Quadro 4.6- Cálculo dos <i>Buffers</i> Temporais .....	80
Quadro 4.7- Comparação de Inventários e Tempos de Processamento .....	82

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

A competitividade das empresas e a procura por parte dos clientes de preços cada vez mais aliciantes fazem da redução de custos um objectivo permanente. Assim se até há algum tempo atrás as filosofias de gestão da produção e melhoria contínua eram aplicadas apenas por um curto período de tempo, sendo implementadas apenas algumas fracções dos seus potenciais, hoje os benefícios da sua aplicação integrada são cada vez mais valorizados.

Desafios operacionais e factores de melhoria são colocados à indústria automóvel tais como:

- O foco nos requisitos dos clientes;
- A utilização da capacidade disponível;
- A redução das ineficiências de produção e dos processos;
- A melhoria da produtividade e a gestão dos custos operacionais.

O foco deve ser a melhoria da eficiência ao longo da cadeia de valor e a redução dos custos operacionais que os fabricantes podem controlar. As estratégias *Lean* têm ajudado a melhorar a cadeia de valor e uma análise detalhada a curto e longo prazo é o método correcto para dimensionar a capacidade necessária. No entanto, antes do desenvolvimento das actividades de melhoria deve ser desenvolvida uma estratégia que defina objectivos e determine onde e como devem ser efectuadas as melhorias, a Teoria das Restrições (TOC) ajuda a definir o objectivo.

Com frequência muitos gestores perante problemas de falta de capacidade optam por investir em capacidade adicional sem antes explorarem as oportunidades na restrição. Explorar a restrição elimina a forma de desperdício mais devastadora, o desperdício que origina acções e custos desnecessários e inibe a obtenção de melhores resultados financeiros. O objectivo é a análise de ineficiências das actividades dentro do processo restrição, problemas de qualidade e faltas de material que tenham impacto na produção da restrição.

Para Sproull (2009) o sucesso das actividades *Lean* e TOC na obtenção de resultados é assegurado através do foco da organização na área correcta do negócio. A TOC providência o foco. Por outras palavras a área correcta é sempre a restrição do sistema e o *Lean* e o Seis Sigma providenciam as ferramentas necessárias para melhorar o negócio.

## 1.2 Objectivos do Estudo

O objectivo do estudo é explorar a integração das metodologias TOC e *Lean* para melhoria de desempenho de cadeias de valor em sistemas produtivos, procurando melhorar o cumprimento da programação e definir o dimensionamento adequado do inventário no processo.

De acordo com o objectivo geral exposto o estudo a realizar passará por alcançar os seguintes objectivos específicos:

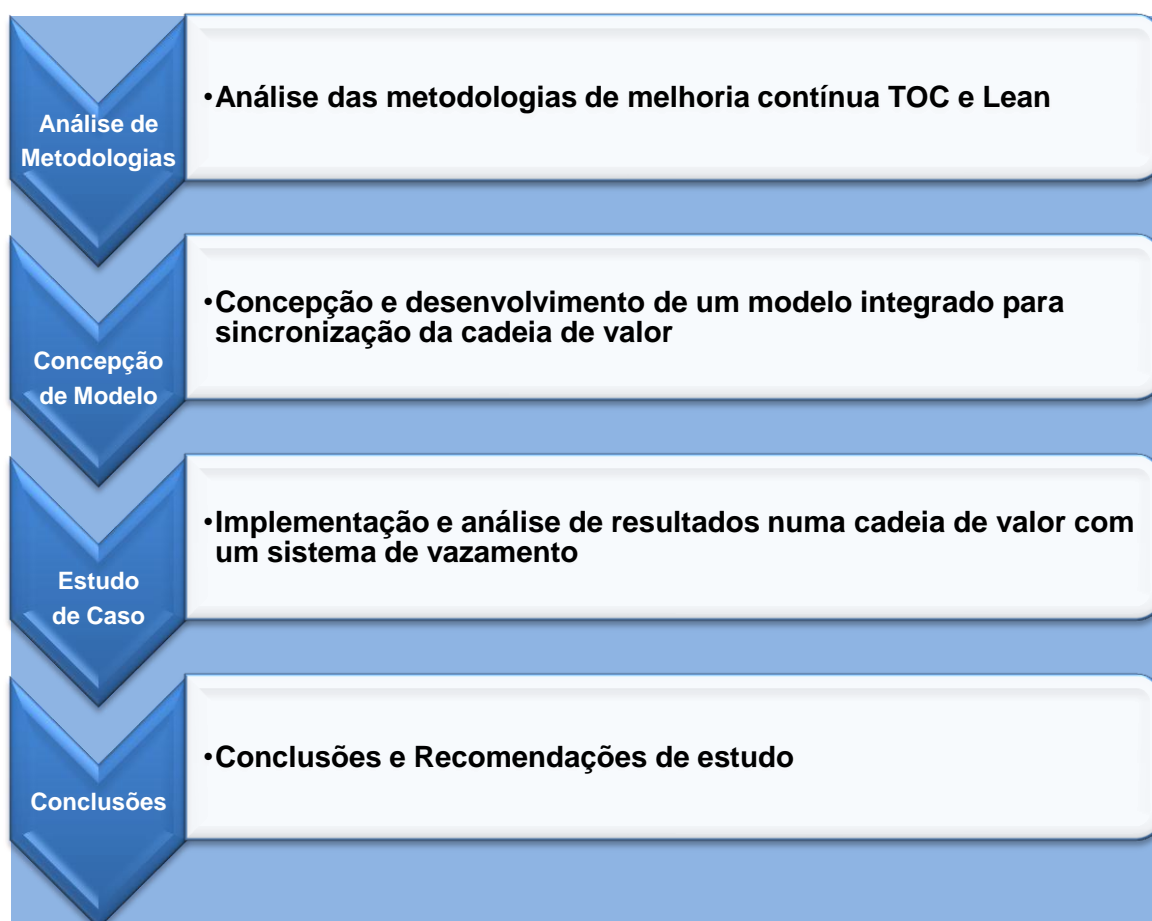
- Desenvolver um modelo integrado de programação de produção na restrição;
- Explorar o dimensionamento de *buffers* e sua utilização para melhoria da comunicação dos processos a jusante aos processos a montante de quando devem iniciar e parar a sua produção.

## 1.3 Metodologia de Investigação

A metodologia adoptada nesta dissertação encontra-se resumida na figura 1.1 seguinte: num primeiro passo procedeu-se à análise das metodologias de melhoria contínua e as suas ferramentas, e aos benefícios da sua integração para aplicação em cadeias de valor de sistemas produtivos com tempos de processamento longos e com uma variedade de produtos que partilham equipamentos que limitam a produção da cadeia de valor.

Depois de escolhidas as melhores ferramentas para melhorar a eficiência do sistema foi desenvolvido um modelo para aplicação integrada das ferramentas da TOC e da produção *Lean* que têm como foco a restrição da cadeia de valor mas que em simultâneo originam outras melhorias.





**Figura 1.1-Principais Passos no Desenvolvimento da Dissertação**

A compreensão da situação inicial do sistema a melhorar é um dos passos mais importantes para o sucesso na aplicação do modelo proposto, foi este o primeiro passo na realização do estudo de caso, no qual foram analisados os pedidos dos clientes, eficiências dos equipamentos, tempos de processamento e inventários no sistema.

No passo seguinte desenvolveu-se o modelo de programação do processo restrição e de aplicação dos *buffers* temporais na cadeia de valor, calculando-se o tamanho do *buffer* antes da restrição através da combinação da teoria das filas espera e da análise do lucro líquido.

Foi então efectuada a aplicação do modelo proposto ao estudo de caso iniciando-se a aplicação do modelo com a análise da situação inicial e aplicação das várias ferramentas e análise dos resultados obtidos. Por último foram retiradas as conclusões finais do estudo e sugeridas as recomendações para trabalhos futuros.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

Esta secção visa apresentar a forma como este relatório se encontra organizado.

No capítulo 1, apresentou-se uma breve introdução ao âmbito do estudo desenvolvido, descrevendo-se os seus objectivos, gerais e específicos. Assim como a metodologia seguida e a estrutura geral da dissertação.

No capítulo 2, apresentam-se os fundamentos da base teórica deste trabalho, isto é as metodologias de melhoria contínua Teoria das Restrições e *Lean*. Aborda-se a Teoria das Restrições de Goldratt, mostrando os cinco passos da metodologia e o sistema de gestão da produção *Drum-Buffer-Rope* (DBR). Apresenta-se a Produção *Lean* e os seus princípios, os desperdícios a eliminar num sistema produtivo e o sistema de produção *pull* e a integração do *Lean* e do Seis Sigma. Por último é apresentado a combinação integrada das metodologias de melhoria contínua TOC e *Lean*.

No capítulo 3, é apresentado o modelo proposto para aplicação da integração das metodologias *Lean* e TOC e as várias ferramentas a aplicar na execução de cada um dos passos de melhoria.

No capítulo 4, explica-se em detalhe a aplicação do modelo proposto: num primeiro passo descreve-se o sistema de produção da empresa em estudo com a identificação da restrição, num segundo passo é realizado a aplicação do modelo a uma situação real e num terceiro passo é efectuada a análise de resultados obtidos.

No capítulo 5, o último capítulo encontram-se as conclusões e são apresentadas as principais recomendações para trabalhos futuros.

## 2 Metodologias para a Melhoria Contínua

Mingers e Brocklesby citados por Stamm et al (2009), sugerem que o mundo da investigação seja separado em quatro níveis: Paradigmas, Metodologias, Técnicas e Ferramentas. Kuhn citado por Stamm et al (2009) define um paradigma como um conjunto de crenças, valores e técnicas partilhados pelos membros de uma comunidade. Assim o paradigma de produção pode ser entendido como os fundamentos do negócio que originam as conhecidas metodologias de produção.

Se descermos um nível dentro de um determinado paradigma um específico conjunto de metodologias pode ser desenvolvido. Por sua vez uma metodologia é um conjunto estruturado de passos chave ou actividades que orientam os investigadores. Mas também pode ser vista como os princípios do método. Admitindo que um paradigma é um conjunto de metodologias, cada metodologia pode ser por sua vez decomposta num conjunto de técnicas. Uma técnica é assim uma actividade específica com um objectivo claro.

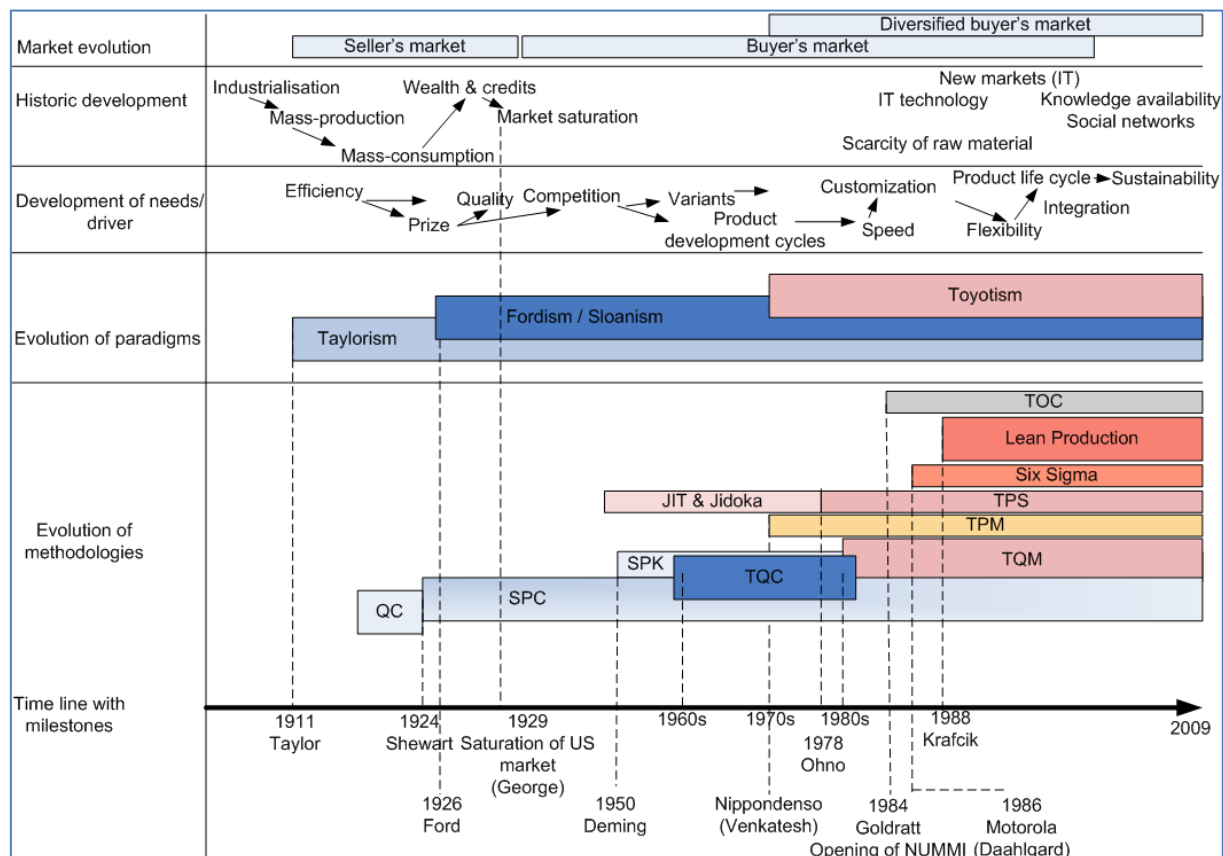
De acordo com o exposto nesta dissertação o Controlo Total da Qualidade (TQC), a Gestão da Qualidade Total (TQM), o Seis Sigma, a Teoria das Restrições (TOC) e o *Lean* são colocados na categoria das metodologias que coincidem e se diferenciam em fundamentos de negócio subjacentes e que são estruturadas de passos chave e de técnicas.

Da época dos anos 50/60, em que o ênfase da competitividade se centrava nos custos de produção, passou-se para uma fase em que a saturação do mercado conduziu a uma inflexão para as questões de *marketing* e, posteriormente, para factores tais como a qualidade e a fiabilidade dos produtos.

A década de 90 assistiu a uma nova mudança, de acordo com a qual a vantagem competitiva é marcada pela resposta rápida às solicitações do mercado. Esta evolução cronológica está representada na Figura 2.1.

Para se manterem competitivas, as empresas tendem a evoluir progressivamente para formas de organização mais globais, com uma especial preocupação no que respeita à maior variabilidade de produtos, à proliferação de novas tecnologias (que permitem reduzir

substancialmente os tempos de desenvolvimento e produção de novos produtos, cada vez mais complexos), às novas exigências no tempo de resposta requerido pelos clientes e ao aumento substancial da qualidade. Assim a integração das metodologias de melhoria contínua é essencial para a satisfação dos clientes e para o aumento da competitividade.



**Figura 2.1-Evolução Cronológica das Metodologias de Produção**

(Fonte:Stamm, 2009)

No início do século XX o mercado automóvel era claramente dominado pelos produtores como vendedores. A reorganização Taylorista da produção aumentou a produtividade do trabalho e os princípios subjacentes ao Taylorismo são a divisão do trabalho. Dividindo as tarefas em simples elementos de trabalho surgiu a possibilidade de uniformização das cargas de trabalho, baseado na troca de partes. Esta divisão do trabalho originou uma diferenciação clara entre as actividades de planeamento e execução.

Em 1910, Ford e o seu braço direito Charles E. Sorensen, desenvolveram o primeiro sistema de produção (Womack e Jones, 1996). Eles consideraram todos os elementos de um sistema de produção, pessoas, máquinas, ferramentas e produtos e combinaram-nos num sistema contínuo para a produção do automóvel. Ford teve um sucesso incrível e depressa se tornou no homem mais rico do mundo e colocou o homem sobre rodas. Ford foi considerado por muitos como o primeiro patrocinador do *Just In Time* e da Produção *Lean*.

O sucesso de Ford inspirou muitos outros a adaptarem os seus métodos mas muitos não perceberam os seus fundamentos. Na General Motors, Alfred P. Sloan optou por um conceito mais pragmático. Ele desenvolveu estratégias de negócio e produção para gerir grandes empresas com alta variedade de produtos. No meio da década de 1930 a General Motors ultrapassou a Ford no domínio do mercado da indústria automóvel. Ainda assim, muitos elementos do sistema de produção da Ford estiveram presentes.

Henry Ford recusava-se a construir armamentos até que a guerra se tornou inevitável e ironicamente os métodos da Ford foram um factor decisivo na vitória dos Aliados na Segunda Guerra Mundial. A vitória dos Aliados e a quantidade massiva de material de guerra captou a atenção dos industriais Japoneses os quais estudaram os métodos de produção Americanos com atenção especial para as práticas da Ford.

Na Toyota, Taichii Ohno e Shigeo Shingo, começaram a incorporar a produção Ford e outras técnicas a que chamaram Sistema de Produção Toyota ou *Just in Time*. Eles reconheceram o papel fundamental do inventário e a Toyota depressa descobriu que os empregados fabris têm de longe um contributo maior do que a força física. Esta descoberta originou o movimento dos Círculos de Qualidade. Ishikawa, Deming, e Juran foram os que mais contribuíram para este movimento, que culminou no desenvolvimento das equipas de trabalho e nas células de produção (Shingo, 1989).

Outra descoberta chave envolve a variedade de produtos. O sistema da Ford foi desenvolvido para um único produto, nunca permitindo a existência de vários ou novos produtos.

Shingo, com a sugestão de Ohno's, trabalhou na redução do tempo de preparação e de mudança de modelo. A redução dos tempos de preparação e mudança para um tempo inferior a dez minutos permitiu a produção de lotes de dimensão reduzida e quase um fluxo contínuo como o original conceito da Ford e quando as melhorias de produtividade e

qualidade se tornaram evidentes para todo o mundo os executivos Americanos viajaram até ao Japão para estudar as causas destas melhorias. Trouxeram com eles os aspectos superficiais como os cartões *kanban* e os círculos de qualidade, mas a adaptação das metodologias da Toyota nem sempre foi bem sucedida pois nem sempre dedicaram tempo suficiente para compreender os princípios básicos do sistema (Womack e Jones, 1996).

## 2.1 A Teoria das Restrições

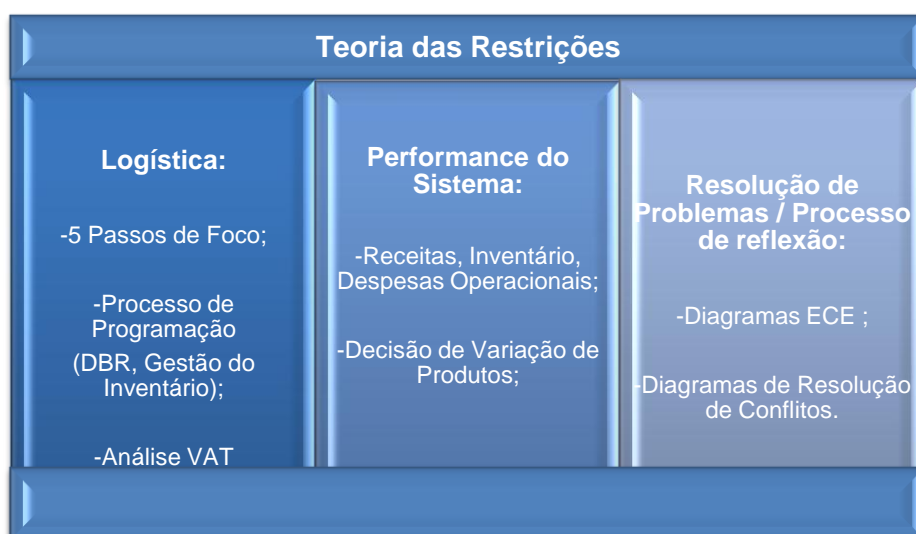
A Teoria das Restrições (TOC) foi introduzida por E. Goldratt na seu livro “The Goal” em 1984. Segundo Stamm e Singh (2009), o essencial desta teoria assemelha-se à *Lei de Liebig’s* que afirma que o crescimento não é controlado pela disponibilidade dos recursos mas pelo recurso mais escasso (*gargalo*). A TOC não teve origem na indústria automóvel e encontrou aplicação em indústrias de natureza variada. Baseado neste princípio, Goldratt defende que todas as organizações têm pelo menos uma restrição que limita a eficiência global da mesma. Para melhorar a eficiência global do sistema, Goldratt desenvolveu cinco princípios de foco em que só através da exploração e da melhoria da restrição os resultados de todo o sistema podem aumentar. Adicionalmente a TOC defende que os processos não restritivos necessitam ser subordinados à restrição pois as melhorias singulares naquelas áreas apenas originam o aumento dos inventários intermédios. A técnica para sincronizar a restrição com os processos não restritivos é designada por *Drum-Buffer-Rope* (DBR) (Goldratt e Cox, 1992).

Goldratt, no seu livro “The Goal” (1984) apresenta, de forma algo metafórica, o exemplo de um grupo de escuteiros a fazer uma caminhada na montanha, indo de um ponto A para um ponto B. Como nem todos os escuteiros têm a mesma idade ou a mesma forma física, é natural que alguns vão ficando para trás enquanto que outros se vão distanciando cada vez mais para a frente no caminho. Ora como todos terão de estar no ponto B para que o objectivo seja alcançado (conclusão da caminhada), isso só é conseguido quando o escuteiro mais lento chegue ao ponto B. Não importa qual seja a velocidade do escuteiro mais rápido pois isso em nada interfere no objectivo. Assim o desempenho do grupo é ditado pelo desempenho do escuteiro mais lento. Este escuteiro é a restrição. Uma vez identificado o escuteiro mais lento há que tentar melhorar o seu desempenho. Qualquer ganho que se consiga na velocidade (desempenho) do escuteiro mais lento é um ganho de todo o grupo.

Uma outra questão não menos importante está directamente ligada à ideia de que uma paragem de 10 minutos do escuteiro mais lento representar uma paragem de 10 minutos de todos os outros escuteiros. Mesmo que todos os outros escuteiros continuem a andar, é o mesmo que estivessem parados. É interessante notar que para um observador externo, se todos os outros escuteiros continuassem a andar, é como se nada tivesse acontecido, não daria conta de que todo o sistema estava a perder 10 preciosos minutos de toda a jornada.

Como salienta Carvalho (2004) o passo do escuteiro mais lento pode ser melhorado libertando-o da mochila. A sua mochila pode passar a ser carregada por um escuteiro mais forte e mais rápido. Podemos também libertá-lo de outros itens que ele tem de carregar (cantil, casaco, etc.). Procurar todas as soluções possíveis para que ele se torne mais rápido. Pode acontecer que depois disto, este escuteiro deixe de ser o mais lento e nesse caso há que olhar para a nova restrição. bSegundo a TOC o objectivo de um sistema produtivo é aumentar os resultados e reduzir os inventários e os custos operacionais. Como o seu nome sugere a identificação e a gestão das restrições é crítica na melhoria de sistemas complexos, pois a restrição do sistema desencadeia a produção de todos os outros processos (Tenera e Abreu, 2007).

A Teoria das Restrições inclui três componentes: uma perspectiva logística, com as metodologias de programação *Drum-Buffer-Rope* (DBR), gestão do inventário e análise VAT, utilizada para identificar o fluxo de um produto, os pontos de controlo e a posição estratégica dos inventários. Uma segunda perspectiva consiste na medição da performance do sistema e a terceira é relativa à resolução de problemas e ao processo de reflexão, consistindo nos Diagramas Efeito-Causa-Efeito (ECE) e dos seus componentes, apresentadas no quadro 2.1.



**Quadro 2.1-** Perspectivas da Teoria das Restrições

### 2.1.1 O Processo de Reflexão

A TOC aborda a empresa como um sistema. Um sistema pode ser definido como uma inter-relação entre processos que actuam em sintonia para transformar entradas em saídas de modo a perseguir um determinado objectivo (Pirasteh e Farah, 2006). Associando sistemas a cadeias, a TOC identifica a ligação mais fraca da cadeia como o factor limitativo do sistema, isto é, a restrição.

Todos os negócios têm pelo menos uma restrição que limita os resultados de todo o sistema e muitas vezes as restrições não identificadas limitam os lucros do negócio. A chave é identificar a restrição de uma cadeia de valor e geri-la.

Existem dois tipos base de restrições, físicas e políticas que impedem o progresso de uma organização. Uma restrição física é normalmente uma restrição da capacidade, como uma pessoa ou máquina. Restrições políticas são as restrições mais usuais e podem ser qualquer característica do negócio que entre em conflito com o objectivo de atingir melhores resultados. Um exemplo, é a indicação para a utilização de lotes de produção de dimensão elevada de modo a aumentar a eficiência de produção, mas mais dispendiosos devido aos tempos de processamento maiores, resultando na perda de flexibilidade e aumento de inventários.

### 2.1.2 Os Cinco Passos de Focalização

Os passos chave na implementação da TOC e melhoria contínua que podem ser aplicados a qualquer sistema de produção, distribuição, vendas ou gestão de projectos são:

- **Passos Pré-Requisitos:**

1. Definir claramente o sistema e qual o seu objectivo;
2. Definir como o avaliar.

- **5 Passos Chave de Foco**

1. Identificar a restrição;
2. Explorar a restrição: resultando no aumento da sua utilização e eficiência;
3. Subordinar todos os outros processos ao processo restrição: todos os outros processos devem servir a restrição;



4. Elevar a restrição: a restrição limita a performance do sistema logo a sua capacidade deve ser aumentada;
5. Reiniciar: depois de tomadas as acções, a restrição deve ser ainda alvo de atenção a não ser que não seja mais a restrição.

Através da figura 2.2 é possível verificar que a aplicação dos cinco passos é realizada em ciclo.



**Figura 2.2- Ciclo de Melhoria da Teoria das Restrições**

**Adaptado de Sproull (2009)**

Os primeiros quatro passos chave de foco podem ser consolidados em três:

1. Determinar o que mudar;
2. Determinar o que alcançar;
3. Determinar como originar a mudança.

Saber o que mudar requer que seja identificada a restrição que está em linha com o primeiro dos cinco passos. Determinar o que alcançar requer que se seja criativo porque se está a trabalhar a nível do sistema e qualquer alteração que se faça vai ter impacto nos componentes que façam parte do mesmo.

Para tal a TOC propõe as cinco ferramentas que fazem parte do *Thinking Process* (TP) denominado Processo de Reflexão (Tenera, 2006), cujas ligações são apresentada na figura 2.3.

- **A Árvore da Realidade Actual (CRT)** começa por identificar as fraquezas do negócio e as causas do problema ou o problema chave;
- **O Diagrama de Resolução de Conflitos (CRD)** é utilizado para resolver conflitos escondidos da organização que prolongam os problemas crónicos;
- **A Árvore da Realidade Futura (FRT)** permite verificar quais as acções a efectuar para resolver os conflitos e atingir os resultados esperados e auxilia na identificação de possíveis novas adversidades das acções tomadas;
- **A Árvore dos Pré-Requisitos (PRT)** identifica os objectivos e os melhores métodos para ultrapassar os obstáculos;
- **A Árvore de Transição (TT)** desenvolve os passos necessários para a implementação das acções.



**Figura 2.3- Ferramentas Lógicas Integradas no Processo de Reflexão**

H. William Dettmer (1998) providenciou 2 questões que são:

- As alterações vão provocar os resultados esperados?
- Quais os efeitos adversos esperados?

As respostas a estas duas questões indicam se as mudanças propostas são as indicadas. Dettmer explica que este passo é a consolidação dos passos dois e quatro dos cinco passos de foco (explorar e elevar). Depois de determinar e validar o que mudar, deve ser decidido como originar a mudança. Por outras palavras esta é a fase mais difícil pois as restrições políticas têm de ser eliminadas.

Como Dettmer (1998) salienta ideias não são soluções, elas têm de ser convertidas em acções efectivas. Levantando três novas questões:

- Quais são os obstáculos no caminho para a implementação das acções?
- Como ultrapassar os obstáculos?
- O que deve ser feito e em que sequência para colocar as ideias em prática?

Respondendo a estas três questões é muito fácil colocar em prática acções de toda a natureza. As restrições não são eliminadas permanentemente elas só se movimentam. Assim, depois de se eliminar uma restrição surge outra. Ciclo após ciclo, é possível que uma restrição que já tenha sido eliminada surja de novo, a diferença é a de que os novos resultados das melhorias são muito melhores do que os obtidos anteriormente.

De acordo, com Dettmer (1998) a TOC baseia-se no facto de existir uma única causa para vários efeitos que são observados numa organização. A TOC encara a empresa como um sistema ou uma série de interdependências, sendo cada processo dependente dos outros de um determinado modo. Na filosofia de produção sincronizada igualar todas as capacidades é vista como uma má decisão. As capacidades não devem ser balanceadas com base num tempo médio, é o fluxo do processo ao longo do sistema que deve ser balanceado.

A TOC foca-se na optimização global do sistema, visualizando o sistema como uma cadeia de funções ou actividades dependentes. Assim defende que o maior benefício surge das actividades que se direccionam para a ligação mais fraca da cadeia. A gestão das restrições suporta-se da utilização dos inventários intermédios estratégicos para isolar a operação restrição e permitir que esta nunca tenha falta de peças e nem pare a sua actividade devido a falta de espaço para colocar a sua produção. A utilização dos *buffers* não é uma solução definitiva, mas uma técnica a curto prazo para atingir as melhorias necessárias pois o objectivo é a minimização da sua dimensão a longo prazo.

Uma das ferramentas da TOC aplicadas em sistemas produtivos é o planeamento de produção *Drum-Buffer-Rope* (Tambor-Buffer-Corda) cujo objectivo é sincronizar a produção através do balanceamento do fluxo produtivo e não da capacidade individual de cada processo.

De acordo, com a TOC o primeiro passo é identificar a restrição do sistema, por definição a data de entrega dos pedidos aos clientes é a primeira restrição. A programação deve subordinar todos os recursos de modo a cumprir a data de entrega, sendo o seu objectivo garantir as datas de entrega dos pedidos e explorar a restrição para melhorar o desempenho do sistema. No tambor existe uma programação detalhada, com a informação dos produtos e quantidades a serem produzidas. O ponto de partida é a procura do mercado, devendo ser produzido o que os clientes querem, nas quantidades certas e no momento exacto. O tambor deve ser utilizado em 100% do tempo disponível de trabalho, para evitar interrupções é recomendável a criação do *buffer*, garantindo a existência permanente de material antes do processo restrição.

A ferramenta *Drum-Buffer-Rope* (DBR) foi criada com base nos cinco passos de foco da TOC. A restrição, o processo mais lento define a cadência sobre a qual os outros processos podem trabalhar, logo torna-se o tambor (*Drum*). O tambor impõe a programação da produção e de acordo com a TOC todos os sistemas estão limitados pela capacidade do seu recurso gargalo. Para Smith (2000), Goldratt refere-se ao gargalo como o tambor porque este determina o ritmo a seguir pelos outros processos que fazem parte do sistema, logo todos os outros processos devem estar sincronizados com a programação da restrição.

Para garantirmos que a restrição trabalha tão bem quanto possível na tarefa de gerar resultados no sistema devemos assegurar que está explorada ao máximo e que é rentável (Sproull, 2009). Se aumentarmos a produção da restrição também aumentamos a produção do sistema e um dos métodos para explorar a restrição é detalhar o plano de produção para este recurso em particular. O material em processamento não tem de diminuir com a implementação do DBR mas normalmente o que acontece é a obtenção de tempos de processamento mais curtos, melhoria da qualidade e aumento da produção. O primeiro objectivo da teoria das restrições é obter resultados (que o sistema obtenha resultados) e geralmente significa aumentar a produção primeiro, a redução do inventário é secundária e por vezes é a consequência do aumento da produção.

A subordinação das não restrições tem como objectivo proteger a restrição e o sistema como um todo e evitar desvios ao plano. O *buffer* tem como objectivo proteger a restrição contra interrupções, assim o material deve chegar à restrição com a devida antecedência temporal, chamada de *buffer*. Este deve manter o processo restrição ocupado e a sua dimensão apresenta dois riscos, se for de pequena dimensão pode parar a restrição, reduzindo o ganho de todo o sistema. Por sua vez *buffers* de grande dimensão aumentam o inventário, o tempo de processamento e as despesas operacionais, mas para a TOC o primeiro risco pode causar maiores danos à organização.

Se as peças chegam com uma antecedência significativa o *buffer* pode ser reduzido, se por outro lado, as peças chegam constantemente com atraso, deve ser aumentado. A sua dimensão depende das flutuações estatísticas do processo e da capacidade protectora dos recursos não restritivos. A gestão de um *buffer* permite quantificar e identificar sistematicamente as causas das interrupções do processo, a gestão deve ser efectuada através do controlo dos níveis de inventário que podem oscilar entre a zona I e a zona III, ver figura 2.4. Todas as peças passam por um ou mais *buffers*, assim para controlar a produção deve ser verificado se as peças estão a chegar aos *buffers* conforme o programado e controlando as falhas é possível prever os problemas que poderão originar as interrupções de programação e atacá-los antes que prejudiquem a produção.

Na TOC o objectivo não é a melhoria de desempenho de todos os processos mas apenas da restrição e dos recursos não restritivos que causam falhas nos *buffers*. Se o processo for melhorado, as falhas nos *buffers* irão desaparecer permitindo que numa actividade de melhoria contínua a sua dimensão seja diminuída constantemente, diminuindo em simultâneo o tempo de processamento e o inventário em processo.

O objectivo da gestão dos *buffers* é resumidamente:

- Planear a protecção necessária da restrição;
- Recomendar acções para aumentar ou diminuir a dimensão dos *buffers*;
- Recomendar acções de melhoria a médio prazo;
- Identificar a existência de outros processos com perda de capacidade protectora.

A corda integrada no sistema DBR representado na figura 2.4 é o mecanismo de sincronização dos outros recursos e consiste na libertação da matéria-prima de acordo, com a programação da restrição. A matéria-prima é libertada para as operações iniciais na mesma proporção que ocorre a programação na restrição. O comprimento da corda é o

tempo necessário para manter o *buffer físico* mais o tempo de processamento até ao início do *buffer*.

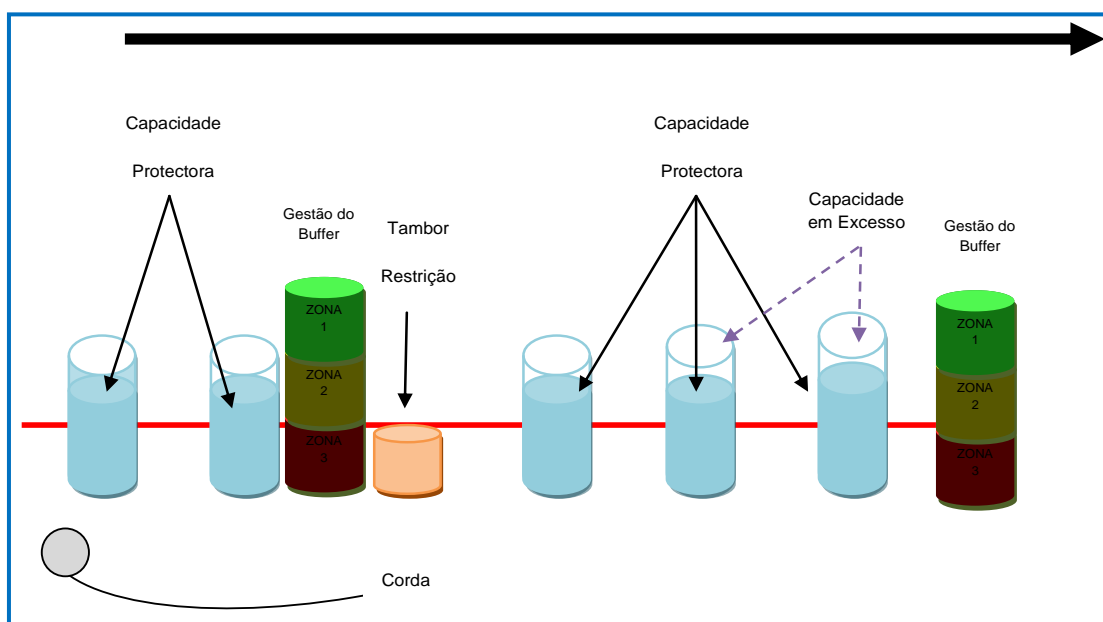


Figura 2.4- O Sistema DBR

## 2.2 A Produção *Lean*

O termo *Lean* foi utilizado pela primeira vez por James Womack e Daniel Jones (1990) depois do seu estudo acerca da indústria automóvel. Estes autores compararam através de um estudo no MIT, as práticas de produção da Toyota com as suas rivais Americanas e Europeias e sumaram as descobertas através do termo *Produção Lean*. No entanto, o termo *produção Lean* deve ser entendido como uma reflexão ocidental nos anos 90 das metodologias de produção da Toyota.

O *Lean* foca-se na eliminação do desperdício identificado com todas as actividades que não acrescentam valor na produção de um produto ou de um serviço. Em todo o mundo numerosas organizações de várias dimensões, em múltiplos sectores da indústria, a todos os níveis da organização estão a implementar os métodos *Lean*, com o objectivo de aumentarem os seus lucros e a sua competitividade.

Estes esforços têm três objectivos principais:

- Reduzir os recursos de produção necessários e os custos associados;
- Melhorar a flexibilidade e rapidez na resposta aos clientes;
- Melhorar a qualidade dos produtos.

### **2.2.1 O Sistema de Produção da Toyota (TPS) e o Pensamento *Lean***

As empresas que têm implementado o *Lean*, adoptaram o TPS (Toyota Production System) como o seu modelo operacional e têm estudado e entendido o sistema, renomeando-o para considerá-lo como um sistema próprio.

- Fazem o que o cliente pede, quando necessário e na quantidade certa;
- Minimizam os inventários;
- Separam o trabalho do homem e da máquina e maximizam a sua capacidade;
- Integram a qualidade no processo e evitam que os erros ocorram;
- Reduzem os *lead-times* (tempos de processamento) que permitam uma programação rápida e flexível;
- Produzem eficientemente uma grande variedade de produtos em pequenas quantidades.

Quando se estuda o Sistema de Produção da Toyota (TPS) é frequente apresentá-lo como um edifício que encerra em si várias divisões que apesar de terem funções bem determinadas estão intimamente ligadas. Ohno (1988) chama a atenção para a base e os alicerces do edifício TPS; neste poderá identificar aspectos fundamentais como a filosofia Toyota (a qual assenta em princípios e valores simples e imutáveis), a gestão visual como forma de envolver todos através da aplicação dos sentidos, a uniformização e a estabilização de processos como forma de reduzir a variabilidade tão prejudicial ao desempenho dos processos e o nivelamento da produção.

Na base desta casa, está o respeito pelas pessoas, algo que foi crucial ao desenvolvimento do TPS e agora também ao desenvolvimento da filosofia *Lean*. Ohno (1988) define como os dois pilares do TPS: o *Just In Time* (JIT) e o *Jidoka*. O JIT refere-se à situação ideal de fluxo produtivo, isto é, as peças certas chegam à montagem apenas quando são necessárias e na quantidade certa e a situação ideal de inventários nulos seria criada. O segundo pilar é o

*Jidoka* que representa a habilidade das máquinas pararem imediatamente sempre que o processo não cumpre as especificações definidas.

Na publicação “The Toyota Way”, Liker (2003) refere a importância na Toyota de alguns elementos da cultura desta apresentados na Figura 2.5. Na figura, *Genchi genbutsu* significa vá e veja por si próprio e colocar em prática as ferramentas *Lean* como o *kanban*, as células de trabalho como elementos de melhoria contínua (*Kaizen*).

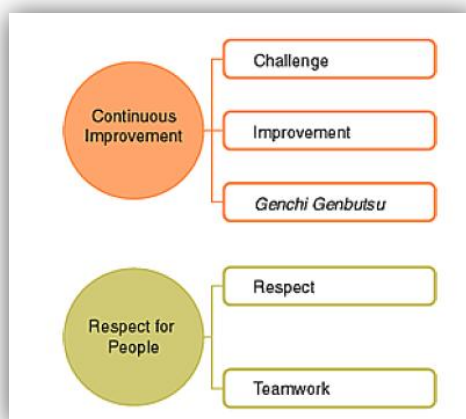
O sistema TPS foi concebido para fornecer as ferramentas e as soluções para que as pessoas que nele trabalham possam melhorar continuamente o seu desempenho. O termo “Toyota Way” significa maior dependência nas pessoas, e não o oposto e muito mais que um conjunto de ferramentas e soluções de melhoria é uma cultura.

Inevitavelmente, as empresas dependem das pessoas para identificar os problemas, para reduzir custos e aumentar o desempenho dos seus processos. As pessoas no sistema TPS denotam um sentido de pertença muito grande, uma enorme preocupação e curiosidade em resolver problemas evitando que apareçam ou os seus efeitos se propaguem. Diariamente, engenheiros e gestores, e principalmente os operadores são envolvidos em projectos de melhoria contínua, que com o tempo faz com que cada um se torne cada vez mais autónomo e poderoso.

Um dos segredos do sucesso do sistema TPS é a sua incrível consistência em termos de desempenho (sendo esta resultante da excelência operacional conquistada ao longo de mais de cinco décadas de desenvolvimento). A excelência operacional alcançada é baseada em métodos e ferramentas de melhoria contínua que tornam o TPS famoso além fronteiras da indústria.

Destas técnicas destacam-se o JIT, *kaizen*, *one-piece flow*, *jidoka* e *heijunka*. Estas técnicas ajudaram a desenvolver a revolução *Lean Manufacturing* mas as ferramentas e as soluções não são o segredo do TPS. As ferramentas e as soluções não são a arma secreta para transformar um negócio em sucesso. O sucesso da Toyota na aplicação continuada destas ferramentas e soluções resulta de um profundo conhecimento das pessoas e dos mecanismos de motivação. O sucesso da Toyota baseia-se na sua capacidade de cultivar a liderança, no trabalho em equipa, na cultura, no desdobramento e alinhamento da estratégia, na criação de fortes relações com os fornecedores, e na manutenção de uma organização em permanente aprendizagem.





**Figura 2.5-Elementos Chave do “Toyota Way”**

(Fonte: Liker, 2003)

A essência do TPS não é visível e as ferramentas e métodos acabam por ter pouco peso na caminhada *Lean* bem sucedida. Mostrando mais uma vez a sua vitalidade, a Toyota renovou recentemente o significado das siglas TPS, de tal forma que actualmente TPS significa *Thinking People System* (sistema de pessoas pensantes).

## Do TPS ao Pensamento *Lean*

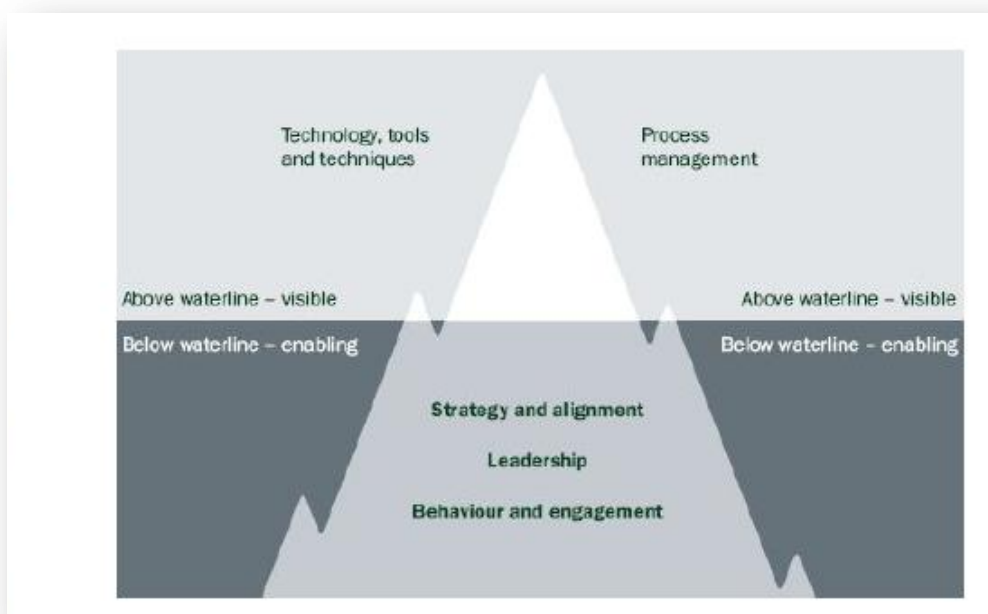
A filosofia *Lean Thinking* iniciou o seu caminho, e cada vez mais se distancia do “mundo industrial” para entrar no sector dos serviços públicos e privados.

As características centrais do *Lean Thinking* podem ser descritas do seguinte modo:

- Organização baseada em equipas envolvendo pessoas flexíveis, com múltipla formação, com elevada autonomia e responsabilidade nas suas áreas de trabalho;
- Estruturas de resolução de problemas ao nível das áreas de trabalho, em sintonia com uma cultura de melhoria contínua;
- Operações *Lean*, o que leva os problemas a revelarem-se e a serem posteriormente corrigidos;
- Políticas de liderança de recursos humanos baseadas em valores, no comprometimento, as quais encorajam sentimentos de pertença, partilha e de dignidade;

- Relações de grande proximidade com fornecedores;
- Equipas de desenvolvimento multi-funcionais;
- Grande proximidade com o cliente.

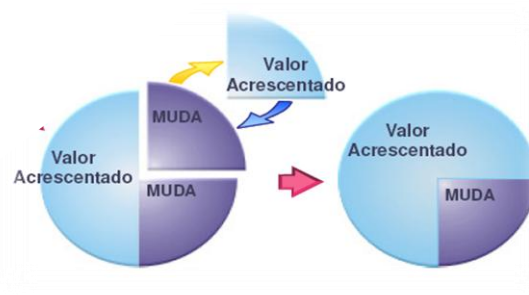
É importante compreender que o *Lean Thinking* não é apenas um conjunto de práticas que usualmente se encontram no meio de produção mas antes uma mudança cultural profunda na maneira como as pessoas e a organização pensam e se comportam. Os resultados positivos são conseguidos através de práticas sustentadas por um conjunto de convicções e princípios que são compreendidos e adoptados. Vários autores vêem o sucesso da Toyota não apenas relacionado com as metodologias de produção mas mais com o sistema de gestão e cultura da organização, que é baseado no respeito pelas pessoas e na responsabilidade dos líderes actuarem como formadores, ver Figura 2.6 (Hines e Harrison, 2008).



**Figura 2.6-Modelo de uma Organização *Lean* Sustentável**  
(Fonte: Hines, 2008)

## Eliminação dos Desperdícios

O objectivo do *Lean* é a eliminação dos desperdícios em todas as áreas de negócio, incluindo as relações com os clientes, desenho do produto, relações com os fornecedores. O objectivo é a utilização do menor esforço humano, inventários reduzidos, menor espaço ocupado e intervalos de tempos mais reduzidos para produção de produtos e serviços de elevada qualidade, de um modo tão eficiente, enquanto se responde aos pedidos do cliente a um custo reduzido e a um nível competitivo cada vez mais elevado.



**Figura 2.7-Eliminação do Desperdício**

(Fonte: Kaizen Institute, 2009)

Num processo *Lean* o *Muda*, *Mura* e *Muri* são eliminados: *Muda* (Desperdício) é toda a actividade que consome recursos incluindo tempo e não acrescenta valor para o cliente, *Mura* (Variação) é a variação numa operação não causada pelo cliente final, *Muri* (Excesso) é a utilização inadequada dos equipamentos e operadores originada pelo *muda* e *mura*, cuja eliminação é representada na figura 2.7.

As actividades *Kaizen* ou de melhoria contínua focam-se na eliminação dos desperdícios, melhoria da produtividade e na melhoria contínua de actividades e processos chave na organização. A produção *Lean* é fundamentada na ideia de *Kaizen* ou melhoria contínua. Esta filosofia implica que pequenas mas contínuas melhorias resultam em melhorias significativas. A estratégia *Kaizen* permite que vários trabalhadores de várias áreas e níveis da organização trabalhem em equipa para resolverem um problema ou melhorarem um processo, de acordo com a figura 2.8.

Os sete tipos de desperdício originalmente descritos por Ohno (1988) são apresentados no quadro 2.2.



Figura 2.8-Ciclo Kaizen

### 2.2.2 Princípios do Pensamento *Lean* e o Sistema *Pull*

Os princípios que podem sumarizar o pensamento *Lean* encontram-se na figura 2.9 e são os seguintes (Womack e Jones, 1996):

1. **Identificação do Valor:** O Valor é expresso em termos de como um determinado produto ou serviço cumpre as necessidades dos clientes, a um preço específico e num determinado tempo. Os produtos ou serviços são avaliados de acordo com os componentes que adicionam valor na perspectiva do cliente externo ou interno.
2. **Identificação da Cadeia de Valor:** Depois de identificado o valor, as actividades que contribuem para o valor também estão identificadas. A sequência completa das actividades é chamada de cadeia de valor. Logo devem ser identificadas as actividades que não adicionam valor mas que são necessárias, sendo um pré-requisito para as outras actividades que adicionam valor.
3. **Melhorar o Fluxo:** Depois das actividades de valor acrescentado e de valor não acrescentado estarem identificadas os esforços de melhoria são direccionados para o fluxo. Fluxo é o movimento contínuo do produto ou serviço ao longo do sistema. Os maiores inibidores do fluxo são os inventários intermédios, processamento do produto e transporte. Os inventários intermédios aumentam o intervalo de tempo desde o início de produção de um produto ou serviço até à sua entrega.

Quadro 2.2- Os Sete Desperdícios

Desperdício	Características	Indicadores	Regra de Ouro	Técnicas para Eliminação
<b>Excesso de Produção</b>	-Produzir mais do que o necessário	-Excesso de Inventário; -Sistema Empurrar a produção;	-Produzir o que o cliente quer, na altura certa e na quantidade exacta	-Lotes de Produção de pequena dimensão (fluxo peça a peça quando possível); -Sistema Puxar e Nivelamento de Produção
<b>Espera</b>	-Esperar que algo fique disponível (informação, materiais, equipamentos)	-Tempos de espera de operadores pelas máquinas e materiais	-Desenhar processos que suportem uma boa utilização dos recursos	-Melhorar o balanceamento do trabalho; -Entregas frequentes; Redução de tempos de Paragens Planeadas
<b>Transportes</b>	-Transporte desnecessário de materiais dentro de uma fábrica ou entre fábricas	-Falta de sistema Puxar a Produção	-O transporte não acrescenta valor	-Pré-determinar rotas e frequências de entrega; -Sistemas <i>Pull</i> , Melhorar o <i>layout</i>
<b>Desenho do Processo</b>	-Muitas inspecções e duplicações do trabalho -trabalho não estandardizado.	-Custos não competitivos; -Processos desnecessários que não acrescentam valor; -Peças más	-Perceber as especificações dadas pelos clientes	-Comparar a situação dos processos actuais com os requisitos do cliente; -Melhorar o desenho do produto
<b>Inventários</b>	-Quantidades de material maiores do que as necessárias (matéria prima, trabalho em processamento; produto final), trabalhar com lotes de dimensão elevada	-Inventários elevados entre operações	-O inventário em excesso é o resultado de outras formas de desperdício que pode ser eliminado através da eliminação dos outros	-Nivelar a produção; -Sistemas Puxar; -Melhorar o OEE e o FTQ; -Simplificar o processo
<b>Correcção</b>	-Produção de peças defeituosas que originam o retrabalho; peças más e atrasos	-Inspecções na recepção de materiais; -Estações de inspecções visuais; -Área de recuperação	-Deve ser identificada a causa dos defeitos para a sua eliminação definitiva	-Qualidade na fonte: -Dispositivos de detecção de erros; -Redução da variação
<b>Movimentos</b>	-Movimentos desnecessários das pessoas e máquinas para a execução do seu trabalho	-Movimentos excessivos de alcançar, pegar, andares	-O foco deve ser no operador e no equipamento restrição	-Melhorar a estação de trabalho; -Melhorar a apresentação do material ao operador; -Estudo de movimentos de valor e não valor acrescentado

4. **Permitir que o cliente puxe o produto ou serviço:** Depois dos desperdícios terem sido removidos e o fluxo estabelecido deve ser o cliente a puxar o produto ou serviço ao longo do processo. A empresa deve providenciar o produto ou serviço apenas quando o cliente o requisita nunca antes ou depois.
5. **Melhorar Continuamente na Busca da Perfeição:** A eliminação dos desperdícios e a melhoria do fluxo originam efeitos secundários. A qualidade é melhorada, o tempo de processamento é reduzido diminuindo as hipóteses de danificação e obsolescência dos produtos e redução da variação.



Figura 2.9-Ciclo de Melhoria *Lean*

Adaptado de Sproull (2009)

## Principais Medidas *Lean*

**Takt Time (TT)** é o intervalo de tempo entre o pedido de duas peças pelo cliente durante o período de produção.

**Tempo de Ciclo (TC)** é o intervalo de tempo entre a produção de duas peças sucessivas num sistema produtivo. Tempo total que o operador ou máquina demora a executar o trabalho até iniciar a sua repetição como se apresenta na figura 2.10.

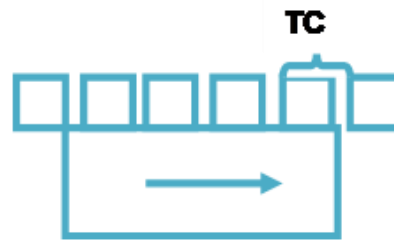


Figura 2.10- Tempo de Ciclo

Adaptado de Shook (1998, Pag 30)

**Tempo de Valor Acrescentado (VA)** é o tempo dos elementos de trabalho que transformam o produto e que lhe acrescentam valor na perspectiva do cliente, como se apresenta na figura 2.11.

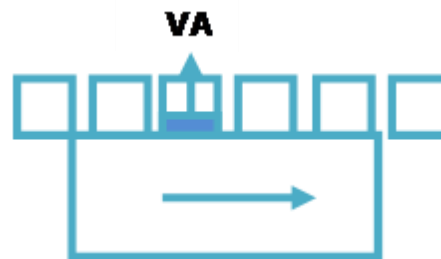
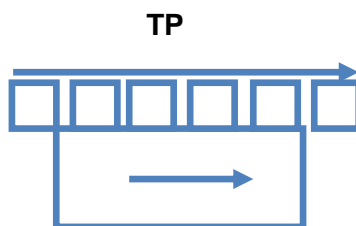


Figura 2.11- Tempo de Valor Acrescentado

Adaptado de Shook (1998, Pag 30)

**Taxa de Produção** é a cadência de produção e diz respeito à velocidade de processamento com que uma máquina, um posto de trabalho ou um qualquer sistema, processa as peças.

**Tempo de Processamento Total (TP)** é o tempo que uma peça demora a percorrer todo o processo ou cadeia de valor. O tempo de processamento, está directamente relacionado com a velocidade de processamento ou taxa de produção, sendo que, o tempo de processamento é o inverso da taxa de produção, ver figura 2.12.



**Figura 2.12- Tempo de Processamento**

**Adaptado de Shook (1998, Pag 30)**

Quanto menor for o tempo de processamento menor vai ser o tempo entre o pagamento da matéria-prima e a recepção do pagamento pelo produto final.

- O tempo de processamento (em dias) para cada inventário é calculado através da divisão da quantidade em inventário pela necessidade diária do cliente;
- Adicionando os tempos de processamento de cada processo e dos inventários ao longo do fluxo de material podemos calcular o tempo de processamento total;
- Quando existem fluxos em paralelo deve ser considerado o tempo de processamento mais longo.

## **Sistema *Pull***

O inventário é uma das sete formas de desperdício que a Toyota listou. No entanto não mantendo inventários suficientes são criados outros tipos de desperdício ainda maiores em toda a cadeia de valor na forma de espera, excesso de transporte e tempo de trabalho extra. O ideal seria produzir para as encomendas com tempos de processamento curtos, sem falhas de produção, sem restrições de capacidade para cumprir com os pedidos dos clientes e sem inventários de produto final. Mas esta situação não é prática para muitas indústrias com pedidos de clientes em períodos curtos.

Os inventários nos locais certos são uma ferramenta poderosa para proteger contra imprevistos na procura dos clientes e também contra as instabilidades dos processos. Capacidade em excesso e tempos de resposta mais longos podem proteger o sistema mas



ambos acarretam custos na forma de investimentos extras e custos para o cliente na forma de tempo de espera. Tentar eliminar todos os inventários não será viável até que os problemas sejam eliminados (Smalley, 2004).

No sistema *push* utilizado em processos sequenciais de produção, cada processo gere a sua produção através de uma programação própria e os seus gestores tomam decisões diferentes acerca do que produzir e empurram o material para o processo seguinte. Não sendo possível verificar se estão a ser produzidas as peças correctas no momento exacto, de acordo com o consumo do processo cliente. Se ocorrer uma alteração no pedido do cliente, o tempo de resposta vai ser mais demorado pois o material não está preparado. E não é possível concluir se cada processo está a produzir em excesso pois cada um trabalha para a sua programação.

O sistema *pull* é um método de controlo da produção que utiliza sinais visuais para iniciar e parar a produção e controlar o fluxo de informação e material ao longo da cadeia de valor.

*Pull* na sua definição mais simples significa que o processo a montante só produz um produto ou serviço quando o processo a jusante faz o pedido. No sistema *pull*, a programação da produção é efectuada apenas no processo final e se os pedidos do cliente alteram o tempo de resposta é mais curto em comparação com o sistema *push*, pois o material deve estar disponível no supermercado. Quando os supermercados atingem a quantidade máxima definida, os processos que produzem para estes devem parar a sua produção, evitando assim o excesso de produção e a utilização inadequada dos recursos produtivos.

Para implementar um sistema *pull* algumas pré-condições são necessárias, como a utilização de lotes de produção de dimensão reduzida, pois caso contrário é muito difícil manter os níveis do supermercado perdendo-se a flexibilidade para responder às variações do cliente. Mas para ser possível a produção de lotes reduzidos os tempos de mudança de modelo também têm de ser mínimos para que estes não limitem o tempo disponível para produção que permita responder às necessidades dos clientes. No entanto, para que o poder de resposta seja elevado, também é necessário que a frequência de chegada dos sinais *kanban* seja elevada. Por exemplo se os sinais apenas são recolhidos a cada dois dias, a dimensão do supermercado vai aumentar perdendo-se as vantagens do sistema *pull*.

Os lotes de tamanho reduzido e a frequência elevada de chegada dos sinais *kanban* são os pré-requisitos para um bom sistema *pull* e para um supermercado de dimensão reduzida. O

inventário de material associado é um inventário com uma dimensão controlada com sinalização da quantidade máxima e do ponto de encomenda e é chamado de supermercado. A localização do supermercado deve ser junto do processo que o produz e não junto do ponto de consumo. Deste modo os responsáveis do processo que produz para o supermercado podem visualizar permanentemente o seu estado, ver figura 2.13.

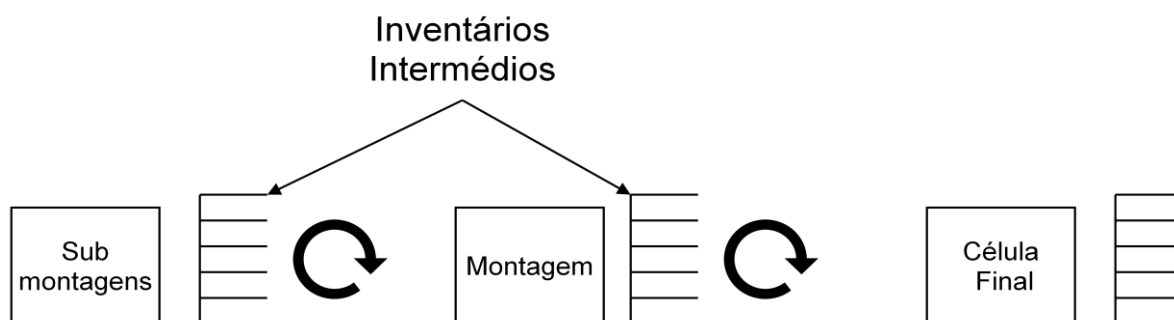


Figura 2.13-Localização dos Inventários Intermédios

## 2.3 Integração das Metodologias *Lean* e Seis Sigma

### Metodologia Seis Sigma

O Seis Sigma foi iniciado pela Motorola Corporation em 1980 para melhorar a qualidade de produção. O seu primeiro objectivo é a eliminação da variação nos processos de produção e serviços a um nível no qual 99,9997% de características estão dentro dos limites definidos pelo cliente. O objectivo é não existirem mais de 3,4 defeitos num milhão de oportunidades e os defeitos podem corresponder a qualquer aspecto relativo à satisfação dos clientes: qualidade elevada, cumprimento do plano de produção ou minimização do custo.

De acordo com Nave (2002), o Seis Sigma oferece uma alteração clara da estrutura e é muito mais orientado para resultados tangíveis e rápidos em comparação com o TQM e TPM. Assim o foco principal é a eliminação da variação no processo de modo alcançar a redução imediata de custos. Através da utilização das técnicas estatísticas para a análise de dados e redução da variação, de modo a que um processo se torne mais fiável.

O ciclo de melhoria Seis Sigma da Figura 2.14 mostra que no primeiro passo se define o problema e os objectivos, no segundo passo recolhem-se, analisam-se os dados e desenvolvem-se e validam-se as possíveis causas, no terceiro passo melhora-se o processo e eliminam-se as causas e no quarto passo controla-se o processo através de medidas standards.

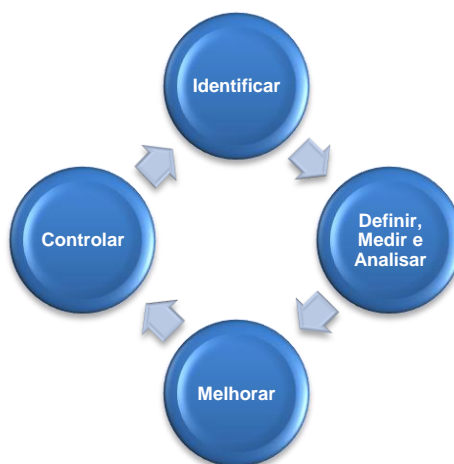


Figura 2.14-Ciclo de Melhoria Seis Sigma DMAIC

Adaptado de Sproull (2009)

No desenvolvimento e implementação do Seis Sigma é indispensável formar especialistas na área, tornando-os responsáveis pela promoção das mudanças dentro da organização (Muir, 2006).

Existem quatro níveis de especialidade:

- **Champions (Campeões):** são os gestores e têm como finalidade apoiar os projectos, auxiliando no desenvolvimento dos mesmos.
- **Master Black Belts (Mestres Cinturão Negro):** são os responsáveis pelo desenvolvimento e adaptação da teoria matemática onde os métodos estatísticos se baseiam. Encontrando-se ainda responsáveis pelo treino dos restantes níveis de especialistas (*Black Belts* e *Green Belts*, apresentados de seguida), dedicando o seu tempo integral ao programa Seis Sigma.

- **Black Belts (Cinturão Negro):** são os líderes dos projectos de mudança e desenvolvimento organizacional, encontrando-se envolvidos activamente no projecto.
- **Green Belts (Cinturão Verde):** são líderes do projecto Seis Sigma, são responsáveis pela construção das equipas e administração do projecto, dedicando apenas uma parte do seu tempo ao projecto, visto manterem as suas funções originais.

A selecção das pessoas que vão integrar cada um dos grupos apresentados anteriormente deve ser efectuada de acordo com as expectativas da formação a ser aplicada no local de trabalho, fornecendo às pessoas treinadas incentivos para que elas apliquem os conhecimentos adquiridos durante a formação.

Naslund (2008) concluiu que o Seis Sigma é um desenvolvimento do TQM. Encontrou semelhanças no processo de resolução de problemas (Roda de Deming e o Ciclo DMAIC), na importância do empenhamento da gestão de topo e do envolvimento dos operadores e na utilização dos métodos estatísticos.

## Integração das Metodologias *Lean* e Seis Sigma

O *Lean* Seis Sigma de acordo com Hambleton (2008) acrescenta o conceito de velocidade, valor acrescentado e fluxo ao conceito DMAIC, providenciando uma análise global do processo.

As metodologias *Lean* (produzir mais com menos recursos) e o Seis Sigma provaram nos últimos 20 anos que é possível atingir melhorias significativas nos custos, qualidade e tempo através do foco na performance do processo. Enquanto o Seis Sigma se foca na redução das variações e na melhoria dos processos através dos métodos de resolução de problemas e dos métodos estatísticos, o *Lean* tem como objectivo principal a eliminação dos desperdícios e a melhoria do fluxo através do seguimento dos princípios *Lean* e da definição de como se devem implementar os princípios (Spector, 2006).

Os resultados impressionantes de companhias como a Toyota, General Electric, Motorola e outras inspiraram muitas outras a seguir os seus exemplos. Como resultado muitas empresas têm agora programas de *Lean* e Seis Sigma em acção. No entanto, usar cada um deles em separado tem limitações. O Seis Sigma elimina os defeitos mas não está focado em melhorar o fluxo do processo. E os princípios *Lean* excluem as vantagens das ferramentas estatísticas muitas vezes necessárias para atingir as capacidades para que um processo seja realmente *Lean*. Utilizando os dois métodos em simultâneo é possível abordar o problema com a melhor das ferramentas que são representadas no quadro 2.3.

**Quadro 2.3- Comparação das Metodologias *Lean* e Seis Sigma**



## 2.4 Integração das Metodologias TOC e *Lean* e Seis Sigma na Sincronização da Cadeia de Valor

Muitas iniciativas *Lean* com o objectivo de eliminarem os desperdícios em toda a cadeia de valor não obtiveram os resultados esperados. Uma das causas do problema é que em muitas empresas simplesmente têm muitos projectos em acção e não conseguem distinguir quais os projectos que são vitais dos que não são (Srinivasan, 2004).

Segundo a TOC a ligação mais fraca da cadeia de valor determina a sua força, logo as acções de melhoria contínua devem focar-se nesta ligação. No entanto, em muitas

organizações as equipas de melhoria continuam a trabalhar noutros projectos ao longo da cadeia, como resultado muitos projectos não alcançam os resultados esperados, a eficiência da empresa não melhora e os gestores ficam desiludidos com os projectos de melhoria contínua (Woeppel, 2009).

Em 2007, o Instituto *Lean* (<http://Lean.org>) no seu inquérito acerca dos maiores obstáculos na implementação das acções de melhoria *Lean* obteve como resultado a resistência à mudança como o maior obstáculo tanto para gestores de topo como para os empregados.

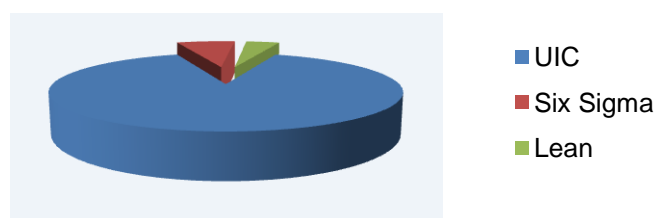
Os fracos resultados financeiros representaram pouca importância nos obstáculos, indicando que os patrocinadores do *Lean* não relacionam a falta de resultados financeiros com a resistência organizacional, parecendo mais focados na utilização das ferramentas. Estes resultados indicam que existe uma desconexão entre os objectivos dos patrocinadores do *Lean* e da gestão, realçando a utilização das ferramentas sobre os resultados obtidos (Woeppel, 2009). Porque existe um nível tão alto de resistência à mudança? Porque não querem as organizações utilizar estas ferramentas? Certamente a falta de resultados é um dos principais motivos. E a falta de alinhamento dos processos de melhoria contínua com a estratégia da organização assim como a falta de foco são os principais motivos pelos quais as acções de melhoria contínua ficam abaixo dos objectivos.

O objectivo do *Lean* é a eliminação dos desperdícios enquanto da TOC é maximizar a produção. Ambas as filosofias se focam em melhorar o fluxo de material no meio produtivo. E têm ambas os mesmos objectivos que são o aumento dos lucros/redução de custos, tempos de processamento e inventários reduzidos. Têm como objectivo proteger o fluxo com a implementação do *kanban* e com a redução da variação, na TOC são utilizados os *buffer's* e o DBR.

Para o *Lean* a capacidade inutilizada é desperdício logo esta deve ser balanceada de acordo, com as necessidades dos clientes. Para a TOC a capacidade em excesso é desperdício, mas a capacidade protectora é boa, logo o objectivo é desbalancear a capacidade para maximizar a produção da restrição. Os inventários para o *Lean* são desperdício e devem ser eliminados sempre que possível, sendo o fluxo peça a peça o ideal. Para a TOC o excesso de inventário é desperdício mas também protege o fluxo de material das variações na produção e da procura. Este é o objectivo de utilização dos inventários como *buffers* que protegem a restrição das variações.

Alguns temas ainda dúbios nesta introdução metodológica são a selecção preferencial do ponto de programação o mais a jusante da cadeia de valor e se o ponto de programação deve ou não ser o processo restrição. A selecção do ponto de programação que determina quais os processos que entram para o cálculo do tempo de processamento desde o pedido do cliente até à chegada ao inventário de produto final. Embora o TPS tenha também como objectivo identificar e quebrar as restrições, este não permite que uma restrição defina o ritmo da cadeia de valor. Na perspectiva de Rother e Shook (1999) não deve ser uma operação problemática a determinar o fluxo de toda uma cadeia de valor. No entanto, a restrição limita a performance do sistema logo ritmar a cadeia de valor através de outro processo vai aumentar os desperdícios e não vai contribuir para aumentar a performance.

Segundo Woeppel (2009) os resultados mais divulgados da utilização integrada das metodologias são os da empresa Sanmina-SCI apresentados na figura 2.15. A gestão realizou a experiência em 21 fábricas durante dois anos e meio e durante este período foram realizados mais de 100 projectos individuais. Das 21 fábricas que participaram na experiência, 11 utilizaram apenas o seis sigma, 4 utilizaram apenas as ferramentas *Lean* e 6 utilizaram o *Ultimate Improvement Cycle* (UIC). Estas 6 fábricas contribuíram em 89% no total de resultados de dois anos de implementações. O seis sigma ficou em segundo lugar contribuindo em 7% e o *Lean* com 4%.



**Figura 2.15- Contribuição para a Redução de Custos**

**Adaptado de Woeppel (2009)**

Os quadros 2.4, 2.5 e 2.6 sumarizam as principais actividades, métodos, foco principal e objectivos de cada uma das metodologias. Observando as principais actividades de cada iniciativa é possível verificar que são complementares e não independentes. Os primeiros resultados de cada iniciativa englobam todas as possíveis melhorias: decréscimo de defeitos, menor variação, eliminação de desperdícios, ciclos mais rápidos e aumento de capacidade. O impacto financeiro das três iniciativas pode ser traduzido em despesas operacionais reduzidas, inventário reduzido e aumento de receitas.

### Quadro 2.4-Comparação das Metodologias de Melhoria Contínua

Adaptado de Sproull (2009)

	<b>TOC</b>	<b>Lean</b>	<b>Seis Sigma</b>
<b>Principal Actividade</b>	Gestão das Restrições	Eliminação do Desperdício	Redução da Variação e dos Defeitos
<b>Método</b>	1-Identificar a restrição 2-Explorar a restrição 3-Subordinar o sistema à restrição 4-Elevar a restrição 5-Repetir o Passo 1	1 –Identificar o Valor 2-Identificar a Cadeia de Valor 3-Fazer o Valor Fluir 4-Puxar a procura do cliente 5-Perseguir a perfeição	1-Definir 2-Medir 3-Analisar 4-Melhorar 5-Controlar
<b>Foco Principal</b>	Optimização de Sistemas	Melhoria dos Processos	Definição e Resolução de Problemas
<b>Objectivo Principal</b>	Definição do Foco Correcto	Simplificação dos Processos	Fiabilidade e Previsão
<b>Resultados Principais</b>	Aumento de Capacidade	Eliminação de Desperdícios e ciclos mais rápidos	Minimização de Defeitos e Variação
<b>Impacto Financeiro</b>	Aumento de Receitas	Redução de Despesas Operacionais e de inventários	Redução de Despesas Operacionais

### Quadro 2.5- Semelhanças entre TOC e Lean

<b>Semelhanças</b>	<b>TOC</b>	<b>Lean</b>
<b>Foco no Valor</b>	Aumentar a percepção do cliente do valor do produto ou serviço	O valor é o que o cliente está disposto a pagar pelo produto
<b>Perceber o Fluxo do Processo</b>	Mapeamento do Processo	Mapeamento da Cadeia de Valor
<b>Protecção do Fluxo</b>	<i>Buffers</i> de Tempo e <i>Stock</i>	<i>Kanban</i> e redução da variação
<b>Sistema Pull</b>	<i>Drum-Buffer-Rope</i>	<i>Kanban</i> e Fluxo Peça a peça
<b>Melhoria Contínua</b>	Processo de Melhoria Contínua	Perfeição

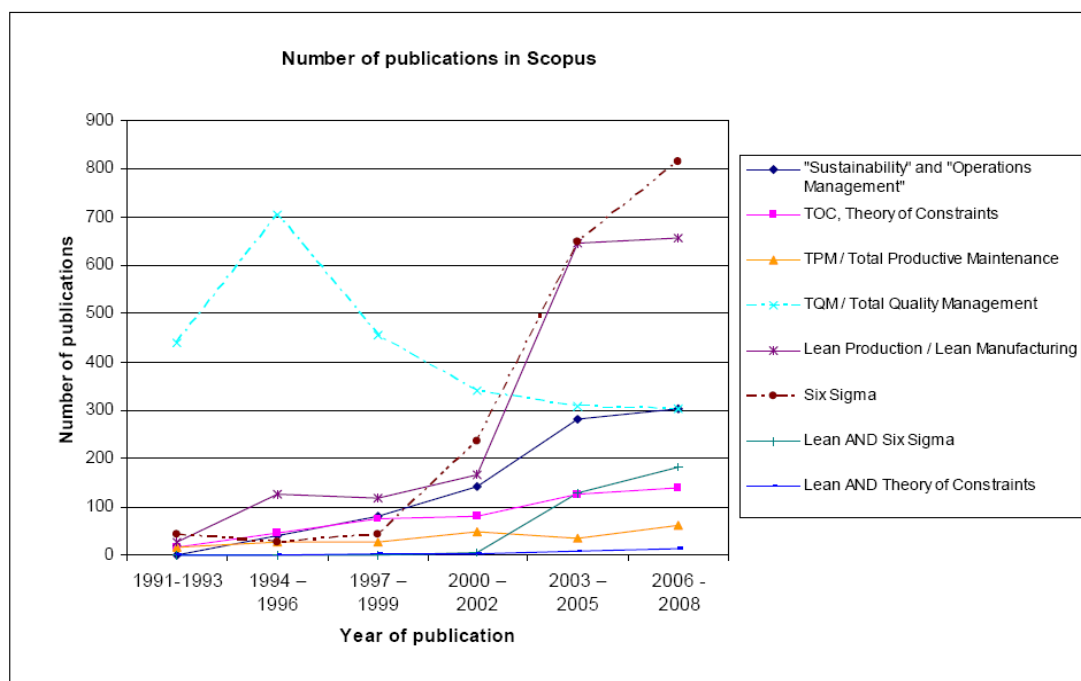


Quadro 2.6- Diferenças entre TOC e *Lean*

Diferenças	TOC	<i>Lean</i>
<b>Filosofia</b>	Uma organização é um sistema de partes interligadas que apenas pode ser sistematicamente melhorado se o foco for a restrição do sistema	Uma organização é um conjunto de partes que sistematicamente podem ser separadas e integradas de novo
<b>Resultados</b>	Aumentar os resultados, reduzir o tempo de processamento e inventário para ganhar vantagem competitiva	Redução de Custos através da eliminação de desperdícios, redução de tempos de processamento e inventários
<b>Capacidade</b>	A capacidade em excesso é desperdício mas a capacidade protectora é boa. O objectivo é desbalancear a capacidade para maximizar os resultados da restrição.	A capacidade inutilizada é desperdício, balancear a capacidade para o <i>Takt Time</i> de acordo com os pedidos dos clientes
<b>Inventário</b>	O excesso de inventário é desperdício, no entanto, protege o sistema da variação dos processos a montante e da procura, o inventário tem a função de <i>buffer</i> que protege a restrição	O inventário é desperdício logo deve ser eliminado, o objectivo é a utilização de inventários reduzidos e controlados.

Existe um crescimento da literatura que analisaram e compararam as metodologias TOC e Produção *Lean*. (Dettmer, 2003), (Srinivasan, 2004), (Spector, 2006), (Gupta e Snyder, 2008), (Youngman, 2009) e (Sproull, 2009) concluíram que o TOC serve como mecanismo de foco para aplicação das metodologias *Lean* e Seis Sigma para a obtenção de melhores resultados em todo o sistema.

A figura 2.16 mostra a tendência crescente do número de publicações com a palavra-chave TOC no título ou no resumo.



**Figura 2.16- Número de Publicações TOC**

(Fonte: Stamm, 2009)

### 3 Modelo de Integração das Metodologias TOC e *Lean* na Cadeia de Valor

O modelo aplicado apresentado na figura 3.1 e 3.2. tem como objectivo o aumento da capacidade de produção e eficiência da cadeia de valor através da identificação e exploração do processo restrição e da sua sincronização com os processos a montante e a jusante, utilizando e integrando as várias ferramentas das metodologias TOC e da Produção *Lean*. Segundo Sproull (2009) os objectivos principais da integração das metodologias são os seguintes:

- Garantir o foco na área correcta do processo ou sistema (restrição) para maximização das receitas e minimização do inventário e despesas operacionais.
- Providenciar um plano de melhoria para assegurar uma execução estruturada que assegura a máxima utilização dos recursos na obtenção dos melhores resultados.
- Integrar as melhores ferramentas, métodos e estratégias de cada uma das metodologias para maximizar o potencial de melhoria.
- Providenciar a sinergia e envolvimento de toda a organização necessários para atingir os objectivos.

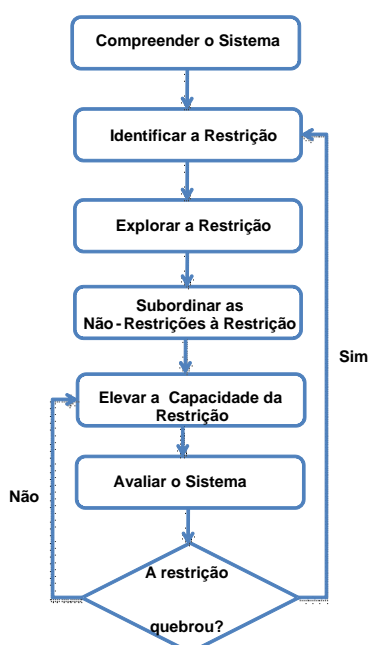
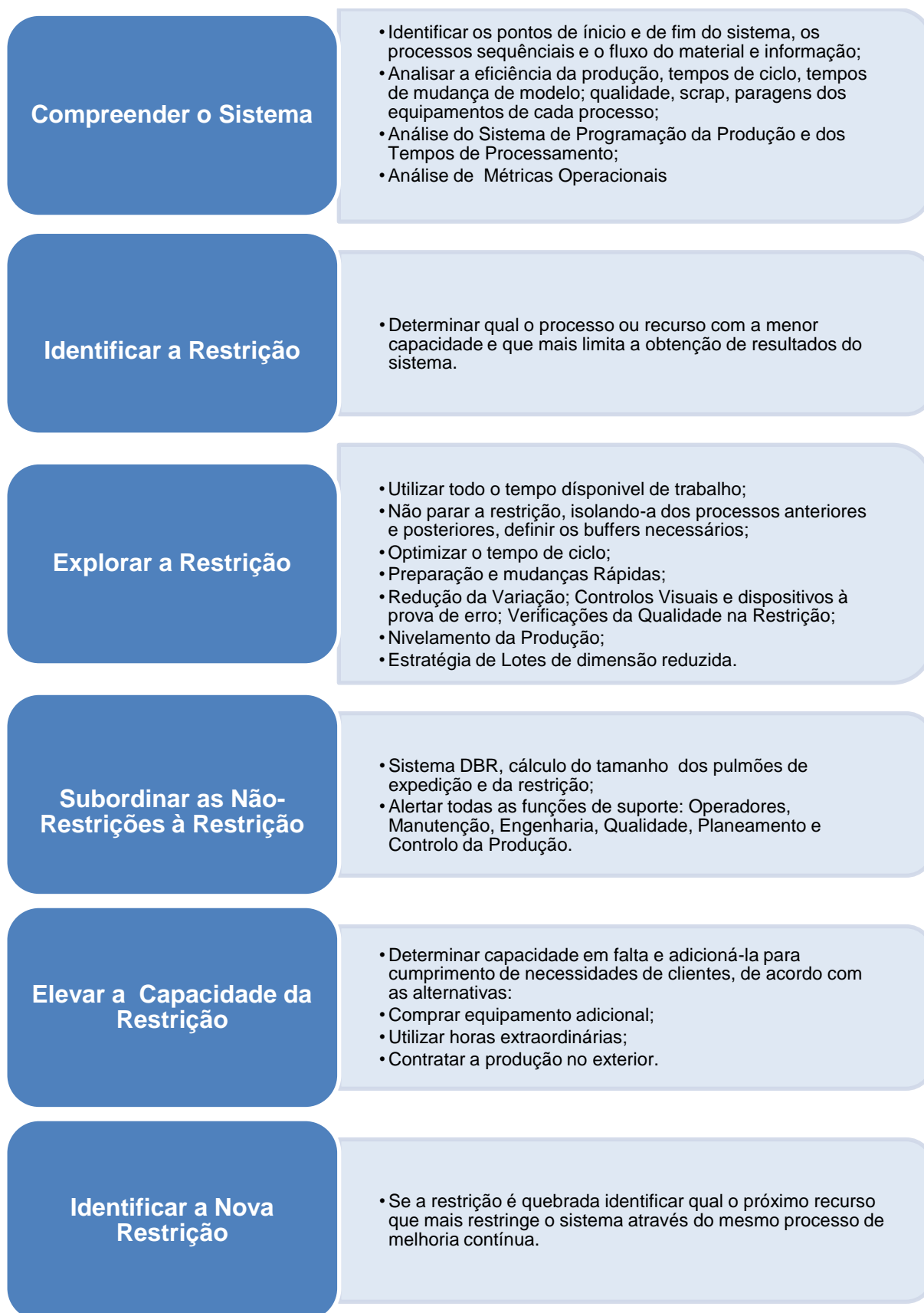


Figura 3.1- Modelo para Aplicação Integrada das Metodologias TOC e *Lean*



**Figura 3.2- Modelo Detalhado de Aplicação da Integração das Metodologias TOC e Lean**

## 3.1 Definir, Compreender e Avaliar o Sistema

O pré requisito de definir o sistema e o seu objectivo constitui o passo essencial para compreender o sistema e para definir as suas necessidades de melhoria.

### 3.1.1 Programação da Produção

Segundo Carvalho (2004) existem três níveis de planeamento da produção, o planeamento a longo prazo que é realizado anualmente e define os objectivos organizacionais da empresa para um horizonte de planeamento superior a um ano. O planeamento a médio prazo que cobre um horizonte de planeamento que pode ir de seis meses a um ano, sendo pormenorizado em períodos mensais ou trimestrais. O planeamento a curto prazo que cobre as actividades do dia a dia com um horizonte que pode ir de poucos dias a várias semanas e é chamado de programação da produção.

Construir um plano de produção semanal compatível com o plano de envios para os clientes deve englobar os volumes correctos para cada produto e cada modelo e assegurar os envios na devida altura. Adicionalmente o volume deve ser nivelado protegendo a cadeia de valor das variações dos clientes e optimizando a utilização dos operadores e das máquinas, isto é, utilizando a opção com o menor custo associado, ver figura 3.3.



Figura 3.3- Construção do Plano de Produção Semanal

### 3.1.2 Análise ABC de Produção

Da análise Pareto sabe-se que cada produto corresponde a uma percentagem da procura diária. Assim é possível distribuir os produtos pelas categorias A, B ou C. Os produtos que correspondem a 60% da procura e têm pedidos diários são os produtos classificados como A e são considerados *High Runners*. O segundo grupo de produtos que correspondem a 20% da procura têm pedidos frequentes mas não diários, são os produtos classificados como B e são considerados *Medium Runners*. O terceiro grupo de produtos que correspondem a 20% da procura mas têm pedidos não frequentes e com uma grande variação, são os produtos classificados como C e são considerados *Low Runners*, este grupo C inclui os pedidos de produtos em fim de vida e ordens especiais (Smalley, 2004).

De acordo com a análise ABC de produção é possível decidir quais os produtos a produzir de acordo com os pedidos do cliente e quais devem ser produzidos para inventário de produto final. As vantagens e desvantagens de várias opções para a estratégia de inventários de produto final são apresentadas no quadro 3.1.

O Inventário Máximo de Produto Final é constituído pelo *stock* cíclico, pelo *stock* de variação e *stock* de segurança, (ver quadro 3.2) onde:

O *stock* cíclico é quantidade de peças das peças a enviar para o cliente que depois do envio deve ser zero;

O *stock* de variação é uma margem de segurança para o caso da procura ser maior do que o esperado;

O *stock* de segurança protege caso surja uma avaria grave no equipamento ou um problema de qualidade e as peças não chegam ao armazém de produto final de acordo com o planeado.

Este *stock* de segurança deve ser calculado com base no histórico da eficiência operacional.

Todos os inventários podem ser ajustados ao longo do tempo, pois começar com inventários elevados é menos arriscado do que começar com inventários muito baixos.

Quadro 3.1- Opções de Manter Inventário de Produto Final

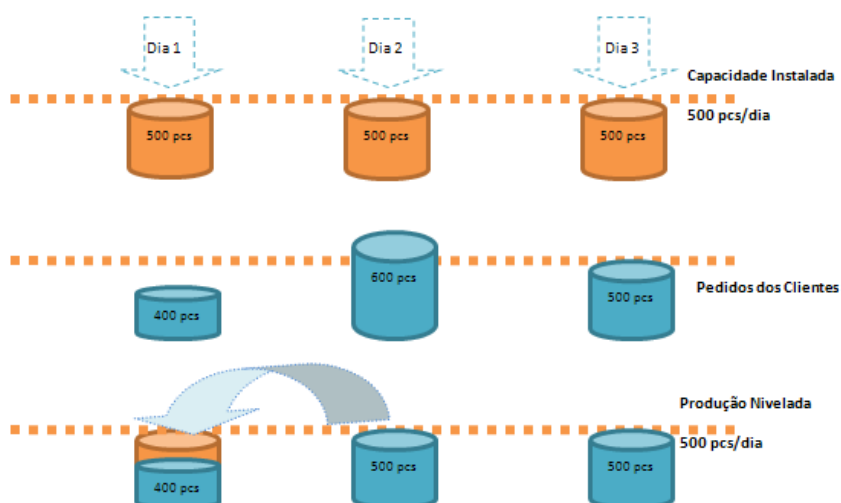
Opções	Vantagens	Desvantagens
Manter inventário de produto final para todos os produtos (A's, B's e C's) e produzir os três para <i>stock</i> (Sistema <i>Pull</i> de reposição)	Disponíveis para envio para cliente num menor intervalo de tempo	Necessário inventário e espaço para cada produto
Não manter inventário de produto final e produzir de acordo com os pedidos	Menor inventário e desperdício associado	Requer uma estabilidade elevada do processo produtivo e tempos de processamento menores que o tempo de processamento da encomenda (desde data do pedido firme até data de envio)
Manter inventário apenas dos produtos C's e produzir produtos A's e B's, de acordo, com os pedidos	Menor Inventário	Necessita de controlo diário do <i>mix</i> e estabilidade
Manter inventário dos produtos A's e B's e produzir C's, de acordo, com os pedidos ( <i>Mixed Pull System</i> )	Inventário Moderado	Necessita de controlo do <i>Mix</i>

Quadro 3.2- Cálculo da Quantidade Máxima de Inventário de Produto Final

<i>Stock</i> Cíclico	Procura Diária*Tempo de Processamento da Encomenda (dias)
<i>Stock</i> de Variação	Variação da Procura como % do <i>Stock</i> Cíclico
<i>Stock</i> de Segurança	Factor de Segurança como % do ( <i>Stock</i> Cíclico+ <i>Stock</i> de Variação)

### 3.1.3 Nivelamento dos Pedidos do Cliente

Existem vários motivos para o nivelamento, sendo o primeiro motivo o volume, o segundo o balanceamento da carga de trabalho para melhorar a utilização dos operadores e o terceiro para evitar ter supermercados e lotes de produção elevados (Jones, 2006).



**Figura 3.4- Exemplo de Nivelamento da Produção**

O nivelamento em volume permite a que a produção tenha estabilidade no seu modo operativo. O exemplo da Figura 3.4 mostra que sem o nivelamento o processo de produção não é utilizado correctamente isto é, com uma utilização baixa num dia e com uma utilização alta no dia seguinte, sem oportunidade de recuperação no tempo normal de trabalho.

### 3.1.4 Tempos de Processamento

A segunda ligação é a comparação do tempo de processamento de produção com o tempo de processamento de um pedido do cliente (figura 3.5). Na figura 3.5 apresentada considera-se que, o tempo de processamento do pedido do cliente é o intervalo de tempo entre o pedido do cliente até que o cliente chega para a recolha do pedido e que o tempo de processamento de produção tem em consideração o tempo para criar a programação da produção, o tempo de processamento dos processos necessários e o tempo de espera do produto final:



- O tempo de programação (TPR) é o tempo entre a recepção da ordem do cliente até completar a programação da produção.
- O tempo de comunicação da produção (TC) corresponde ao intervalo de tempo para comunicar a programação da produção à produção.
- O tempo de processamento do lote de envio (TP) é o intervalo de tempo que a produção demora a produzir todas as paletes necessárias para um determinado envio.
- O tempo de espera do produto final (TE) é o intervalo de tempo (medido em horas) entre a produção da última paleta para o envio de um determinado produto e o seu envio para o cliente.

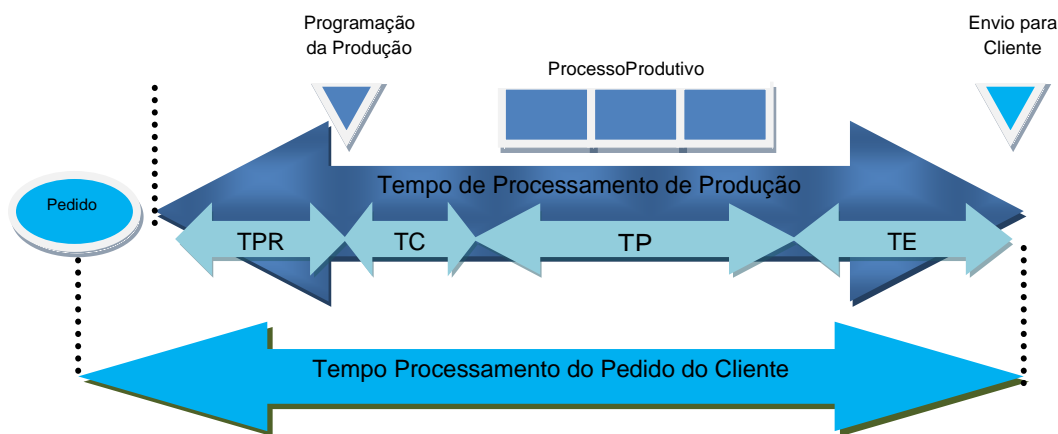


Figura 3.5-Tempos de Processamento na Cadeia de Valor

## Métricas de Performance Operacionais

As métricas de performance são importantes porque são indicadores que permitem saber qual a direcção a tomar. Assim devem suportar os objectivos da organização e devem avaliar e providenciar *feedback*.

## ***Overall Equipment Effectiveness (OEE)***

A métrica *Overall Equipment Effectiveness* (Eficiência Global do Equipamento) tem em consideração a disponibilidade, a performance e a qualidade das peças produzidas.

Nakajima (1989) providenciou a seguinte fórmula para o OEE:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} * \text{Performance} * \text{Qualidade}$$

As paragens dos equipamentos, o tempo de ciclo e os defeitos limitam o valor do OEE.

## ***Schedule Attainment (SA)***

A métrica *Schedule Attainment* (Cumprimento da Programação) mede a habilidade do departamento de produção respeitar e seguir a programação da produção, em termos de produção do volume e dos modelos de produto programados.

O cumprimento da programação em volume é utilizada para verificar se a produção está a entregar o volume correcto de acordo com o programado. O cumprimento da programação dos vários modelos (*mix*) é utilizada para verificar se a produção está a entregar o volume correcto de cada um dos modelos de produto. Estas métricas determinam a necessidade ou não de desenvolver acções de melhoria para eliminar os problemas que originam o não cumprimento da programação e que podem originar o excesso de produção ou a falta de peças no cliente. O número de alterações na programação efectuadas pelo departamento de Planeamento e Controlo da Produção pode ser medida em paralelo com o cumprimento da programação, podendo contribuir para a deterioração desta.

## ***Ship Window Compliance (SWC)***

A métrica *Ship Window Compliance* (Cumprimento de Envios) compara o envio de todos os produtos nas respectivas quantidades com os planeados num determinado período. Se a quantidade de um dos produtos não corresponder às planeadas a métrica tem o valor de 0%.

## 3.2 Identificar e Explorar a Restrição

### 3.2.1 Identificar a Restrição

No primeiro passo para a sincronização da cadeia de valor foi combinada a compreensão do fluxo do processo com a identificação das métricas de performance, identificação do sistema actual de programação e identificação da restrição actual através da análise e comparação da capacidade individual dos processos de cada produto.

Sem o ponto de foco é possível fazer melhorias de qualidade e produtividade que têm um impacto mínimo pois foram efectuadas nas operações não restrição. Numa organização existe sempre um recurso que limita a capacidade produtiva. Uma forma de identificar a restrição é através do cálculo da carga dos recursos imposta pelos pedidos dos clientes versus a capacidade de cada recurso. Um método simples é observar o processo e verificar onde se acumulam os maiores inventários.

### 3.2.2 Explorar a Restrição

Antes de serem iniciadas as acções de melhoria num processo, deve existir um plano de foco e criar-se estabilidade. Estabilizar significa tornar o processo mais previsível, fiável e consistente. Deste modo, numa primeira fase devem ser reduzidos os desperdícios e a variação da operação restrição, até que um novo nível de consistência e fiabilidade seja atingido. A verdadeira melhoria não acontece até que o processo esteja estável e consistente ao longo do tempo.

Depois de identificadas as fontes de desperdício, deve ser definido um plano para a eliminação das mesmas, por ordem de prioridade. Segundo Sproull (2009) é absolutamente imperativo que exista uma colaboração permanente entre os recursos focados na redução dos desperdícios e dos recursos focados na redução dos defeitos e variação, pois ambos vão originar alterações no processo que podem ter impacto nas actividades dos outros.

Há várias formas de explorar a restrição, providenciando uma programação detalhada, melhorar o *mix* de produtos e garantir que apenas peças sem defeitos são alimentadas no processo restrição.

Reduzir os tempos de preparação, seguir o plano de manutenção preventiva, garantir que existe um *buffer* antes da restrição para evitar que o recurso com menor capacidade pare por motivos de falta de peças, mesmo que um processo a montante pare por falta de material durante algum tempo.

Uma restrição não pode avariar, por isso, o sistema de manutenção tem de dar a esse posto de trabalho uma atenção redobrada. Deve haver um controlo apertado da manutenção neste processo. Os planos de manutenção preventiva devem ser cuidados de modo a que as intervenções de manutenção sejam rápidas, eficientes e nos momentos que menos afectem a produção. Se possível fora das horas de trabalho. Além disso, sempre que possível, levar a cabo pequenas operações de manutenção com a máquina em funcionamento. A manutenção preditiva (*predictive maintenance*) deve ser equacionada e avaliada para estes postos de trabalho.

A restrição não pode produzir peças sem qualidade pois isso equivale a ter o processo parado, assim devem ser implementados sistemas automáticos de controlo para manter todos os parâmetros de qualidade dentro dos limites definidos.

Todos os detalhes de organização devem ser estudados continuamente. As ferramentas utilizadas nos posto de trabalho do processo restrição devem ser cuidadosamente posicionadas e o seu uso deve ser optimizado de forma a eliminar ao máximos tempos improdutivos e recorrer ao método dos “5S” para organizar os postos de trabalho do processo restrição é a decisão correcta.

O que nunca deve faltar a uma restrição é o abastecimento de materiais, o sistema de planeamento e controlo da produção não deve em caso algum permitir que falem materiais a um processo restrição. Os tempos de preparação e tempos mudança entre produtos não podem ser esquecidos. Além destes tempos serem claramente tempos improdutivos há também a questão vital: quanto maiores são maior é a tendência para a produção de grandes lotes (causando inventário) e o método SMED (*Single Minute Exchange of Die*) deve ser utilizado para redução dos tempos de mudança de modelo.

### 3.2.3 Nivelamento e Sequenciamento da Produção

A programação da produção deve providenciar a produção do produto certo no volume exacto para que o envio seja feito no momento planeado.

A primeira ligação entre o sistema operativo do planeamento e controlo da produção e o departamento de produção é o processo na produção onde é dada a programação da produção (ver figura 3.6), sendo necessário seleccionar um processo que seja o regulador da produção de toda a cadeia de valor e que garanta que as quantidades certas de cada produto sejam produzidas na devida altura em todos os processos da cadeia de valor (Ramos e Tenera, 2009).

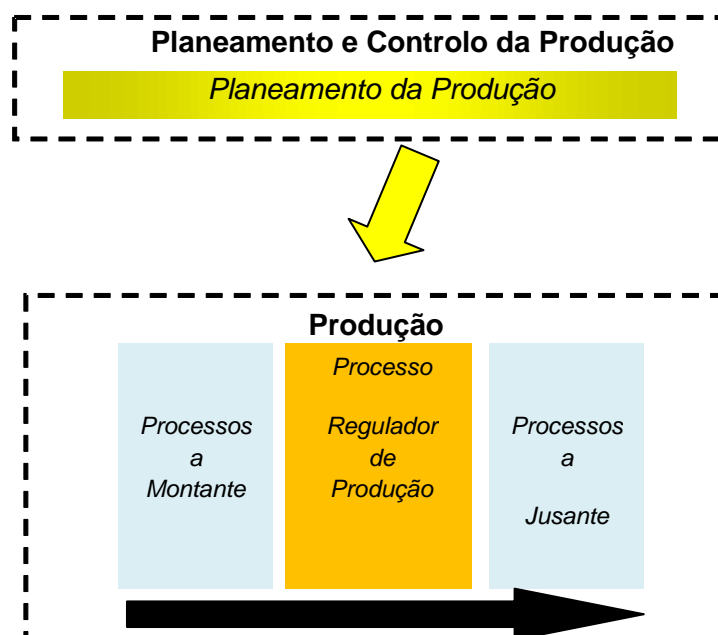


Figura 3.6- Regulador de Produção da Cadeia de Valor

### Lote de Transferência versus Lote de Produção

O fluxo ideal em termos produtivos é o fluxo peça a peça mas em muitos sistemas operativos o fluxo peça a peça não é apropriado nem possível. Quando os processos não permitem o fluxo peça a peça é necessária a produção por lote (Jones, 2006).

Segundo Carvalho (2004) numa máquina ou numa linha, um lote pode ser considerado como o conjunto de peças produzidas até que se mude para a produção de outro produto ou peça.

- Um lote de produção é o conjunto de peças produzidas de uma referência única.
- Um lote de transferência é a quantidade de peças que é transferida de um posto de trabalho para o próximo.

O método mais comum é que o regulador da produção que recebe a programação da produção do departamento de logística seja a célula final.

A dimensão dos lotes de produção no regulador de produção devem ser mínimos, no entanto, existem 3 restrições: o tempo de ciclo de cada produto; o tempo de mudança de modelo; o Intervalo de *Pitch*.

Quando não existem variações significativas de tempos de ciclo entre os produtos e os tempos de mudança de modelo também não constituem obstáculos para reduzir a dimensão dos lotes, o *Pitch* de produção determina a máxima extensão na qual o processo regulador da produção pode ser nivelado no *mix*. O *Pitch* é um conceito *Lean* e é calculado multiplicando o *Takt Time* pelo lote de transferência.

## Cálculo do *Pitch* de Produção

$$P = TT * C \quad (3.1)$$

**P** = Intervalo de *Pitch* (Intervalo de tempo necessário entre a produção de dois lotes de transferência de acordo, com as necessidades do cliente);

**TT** = Intervalo de tempo necessário entre a produção de duas peças de acordo, com as necessidades do cliente;

**C** = Quantidade de um lote transferido para o processo seguinte (corresponde ao lote mínimo a produzir).

Como o *Pitch* é a ligação entre a quantidade de cada lote de transferência e o *Takt Time*, os lotes de produção devem ser múltiplos da quantidade de um contentor. No entanto, a redução da quantidade por lote de transferência pode ser uma oportunidade para melhorar o nivelamento, se as quantidades actuais forem elevadas.

- **Cálculo do Número Total de Intervalos Diários**

Conhecendo o tempo disponível por dia, os pedidos dos clientes e a dimensão mínima do lote é possível nivelar a produção por *mix*. Para tal apenas é necessário dividir o tempo disponível pelo *Pitch* para calcular o número de *Pitches* para cumprir com a procura.

$$NT = \frac{TD}{P} \quad (3.2)$$

**NT** = Número total de Intervalos *Pitch* diários necessários para satisfazer as necessidades dos clientes;

**TD** = Tempo disponível de trabalho por dia;

**P** = Intervalo de *Pitch* (Intervalo de tempo necessário entre a produção de dois contentores de acordo, com as necessidades do cliente).

- **Cálculo do Número de Intervalos por Produto**

Mas qual o número de *Pitches* que devem ser alocados a cada produto?

De acordo com a análise Pareto, sabemos qual a percentagem de volume por produto e de acordo com esta são distribuídos os intervalos disponíveis.

$$NPx = NT * \%x \quad (3.3)$$

**Npx** = Número total de Intervalos *Pitch* diários necessários para satisfazer as necessidades dos clientes em relação ao produto x;

**NT** = Número total de Intervalos *Pitch* diários necessários para satisfazer as necessidades dos clientes;

**%x** = % do volume diário pedido pelos clientes que corresponde ao produto x;

O mesmo cálculo deve ser efectuado para todos os produtos necessários produzir no regulador da produção.

## Cálculo da Sequência de Produção

A sequenciação numa máquina única pode ser efectuada através do FIFO (*First In First Out*) SPT (*Shortest Processing Time*) ou EDD (*Earliest Due Date*) ou ainda do Rácio Crítico. A sequenciação dos produtos é realizada pela ordem crescente dos rácios críticos (Tagawa, 1999).

$$RC = \frac{DE}{TP} \quad (3.4)$$

**RC** = Rácio Crítico;

**DE** tempo disponível restante para data de entrega de encomenda a clientes (Data de Entrega-Data Actual);

**TP** = Tempo de processamento restante da encomenda a enviar.

No sequenciamento calculado pelo rácio crítico têm prioridade os trabalhos com menor razão crítica, isto é, com a menor razão entre o tempo disponível restante e o tempo de processamento restante (Tenera, 2007).

- A regra do Rácio Crítico permite:
  1. Caracterizar o estado dos produtos;
  2. Estabelecer prioridades relativas entre produtos;
  3. Relacionar produtos para *stock* e por encomenda numa base comum;
  4. Ajustar prioridades, de acordo, com alterações quer de prioridade quer de produção.
  5. Verificar dinamicamente o desenvolvimento da produção.

Se o  $RC < 1$  a encomenda está atrasada;

Se  $RC = 1$  a encomenda cumpre a data de entrega com  $Folga = 0$ ;

Se  $RC > 1$  a encomenda tem folga  $> 0$ .



### 3.3 Subordinar o Sistema à Restrição

Queremos que a restrição trabalhe ao ritmo necessário para satisfazer as necessidades dos clientes e os processos não restrição trabalhem apenas ao ritmo da restrição. Os processos a montante têm a responsabilidade de nunca parar a restrição porque a produção do sistema pode parar. Mas os processos não restrição não devem produzir mais peças do que as puxadas pelo processo restrição pois não trazem benefícios para o sistema. De facto, o excesso de produção aumenta os custos operacionais pois outros tipos de desperdício são criados.

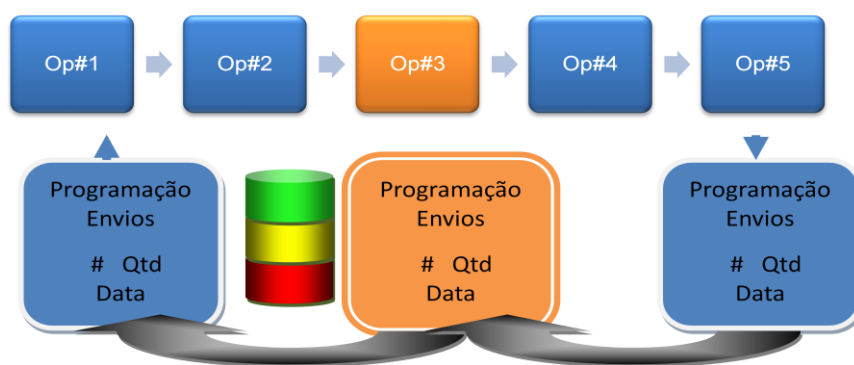
Neste passo deve ser numa primeira etapa, elaborado um plano de como limitar a produção dos processo não restritivos à restrição. Caso contrário, a acumulação de inventário à entrada da restrição ultrapassaria o *buffer* protector. Deve ser feito assim uma análise à restrição e às não restrições e estabelecer um *buffer* na restrição e no produto final e definir como deve ser efectuada a reposição dos mesmos.

Na verdade, subordinar os processos não restrição à restrição coloca as não restrições em segundo lugar. Se a restrição tem tempos de paragem a equipa de manutenção deve deixar os outros trabalhos e dedicar-se a este até resolver o problema. Caso ocorra algum problema de qualidade deve proceder-se do mesmo modo. Como os processos não restrição podem parar e não afectar a produção do sistema, podem esperar pelos recursos. A subordinação não se limita aos processos produtivos. Por exemplo a engenharia deve ter como prioridade as acções de melhoria no processo restrição, de facto todos os recursos que incluem todas as funções devem estar disponíveis para suportar as necessidades da restrição. O processo restrição não deve parar pois a produção perdida não é recuperável.

#### 3.3.1 Aplicação do DBR à Cadeia de Valor

O DBR é uma ferramenta para a sincronização da cadeia de valor. O tambor (*Drum*) é o recurso limitativo da capacidade que estabelece o ritmo de toda a cadeia de valor. O *buffer* é a protecção da restrição dos problemas e flutuações que podem ocorrer no sistema. Os *buffers* são colocados em localizações estratégicas e não entre todos os processos, para que o tempo de processamento seja o menor possível.

Os elementos essenciais do DBR são: a programação dos envios é baseada na capacidade da restrição. Por sua vez, a programação da produção da restrição deve estar alinhada com a programação dos envios. E a programação do primeiro processo deve estar alinhada com a programação da restrição. Visualmente estes três elementos são representados na figura 3.7, onde é possível ver as interligações de cada um. O tambor define o ritmo do sistema de produção e a sua capacidade deve ser maior que as encomendas dos clientes. No entanto, a falta de componentes vai originar o não cumprimento da programação da produção no processo restrição e a falha na entrega de peças ao cliente, devido a esta interdependência a gestão dos *buffers* intermédios torna-se crítica.



**Figura 3.7- Sistema de Gestão dos Buffers DBR**

(Adaptado: Sproull, 2009)

Devido a não se pretender excesso de inventário no processo, os *buffers* contêm algum inventário físico (espaço) e uma estimativa do tempo de processamento (tempo) desde vários pontos dentro de toda a cadeia de valor. No caso do *buffer* da restrição o inventário físico é colocado atrás da restrição e é estabelecido um *buffer* temporal baseado no tempo de processamento da matéria-prima até à chegada dos componentes ao processo restrição. O *buffer* de produto final consiste num inventário físico e um *buffer* temporal baseado no tempo de processamento desde o processo restrição até à entrega ao armazém de produto final.

Para dimensionar correctamente o *buffer*, a chegada das peças deve ser controlada e comparada com o tempo planeado de chegadas. Através do controlo do inventário (*Buffer*) está-se permanentemente a enviar um sinal à cadeia de valor de quando é necessário enviar as peças para o cliente.

Na Figura 3.7 a gestão do *buffer* tem este objectivo, quando as peças não chegam ao *buffer* de acordo com a programação, é criado um buraco no *buffer*. Se o *buffer* for dividido em três zonas, pode ser gerido com sucesso, a zona verde significa que tudo está de acordo, com a data programada de chegada das peças, assim buracos nesta zona não são motivo de preocupação. A zona amarela diz-nos que as peças não chegaram de acordo com a programação e é necessário criar um plano de recuperação e a zona vermelha significa que as peças não vão chegar ao *buffer* de acordo com o planeado e é necessário activar o plano de recuperação. Gerindo o *buffer* da restrição é possível verificar com antecedência quando se torna necessário accionar um plano de emergência ou não.

Se nunca são criados buracos na zona verde, o *buffer* é provavelmente muito elevado. Por outro lado, se entra constantemente na zona vermelha o *buffer* é claramente muito baixo. Se o *buffer* foi sobredimensionado está-se a aumentar as despesas operacionais e o tempo de processamento enquanto diminui a rotação do inventário e o *cash flow*. Se o *buffer* for subdimensionado corre-se o risco de parar a restrição devido a falta de peças e tornar irrecuperável a produção das mesmas. A quantidade de inventário físico e temporal depende da variabilidade do processo, se os processos a montante da restrição são muito instáveis e com muitas interrupções a maior parte do *buffer* deve ser inventário físico se por contrário são processos estáveis a maior parte do *buffer* deve ser temporal. O objectivo dos *buffers* é a protecção da restrição de falta de peças e assegurar a entrega das peças aos clientes. O sistema DBR é um método de planeamento que permite balancear e controlar o fluxo do processo ao longo da cadeia de valor, enquanto o inventário e as despesas operacionais são minimizadas (Sproull, 2009).

### 3.3.2 Dimensionamento de Inventários Intermédios

#### Lei de *Little*

O fluxo dos materiais em produção pode ser comparado ao fluxo de líquidos em tubagens, esta analogia é hoje conhecida por Lei de *Little*. A ideia é que, se diminuirmos a secção das tubagens, a velocidade do fluido tem de aumentar para manter o mesmo caudal. Aumentado

a velocidade, cada partícula do fluido demora menos tempo a percorrer as tubagens. Um comportamento semelhante encontra-se nos sistemas de produção. O comprimento da secção das tubagens é comparado à quantidade de peças em curso, deste modo, quantos mais peças em curso existirem maior vai ser o tempo que cada peça demora no sistema. As peças em curso são as peças que estão em espera ou a ser processadas num sistema produtivo e a sua quantidade é frequentemente designada por *WIP (Work in Process)*.

A lei de *Little*, pode ser expressa da seguinte forma:

$$\text{WIP} = \text{Taxa de Produção} \times \text{Tempo de Processamento}$$

O *WIP* é a quantidade de produtos que se encontra em curso de produção dentro do sistema produtivo que estamos a analisar. A Taxa de Produção é a quantidade de produtos por unidade de tempo que o sistema produtivo em causa está em média a debitar. O Tempo de Processamento é o tempo que em média um produto demora a atravessar o sistema em causa, desde que entra no sistema até que o abandona. O *WIP* é proporcional ao tempo de processamento, para *WIP* elevados, tempos de processamentos longos, para *WIP* reduzidos, tempos de percurso curtos. O prazo de entrega é um indicador de desempenho cada vez mais apreciado no mercado, responder com maior rapidez é um inquestionável factor de competitividade e está intimamente associado ao tempo de processamento. Assim para se responder rapidamente ao mercado, não é necessário ter maiores taxas de produção, basta reduzir a quantidade de produtos em curso, ou de uma forma mais generalizada, reduzir os inventários.

## **Dimensão do *Buffer***

Por vezes é claro que uma redução imediata do inventário pode criar várias tensões organizacionais. Como por exemplo numa situação em que os responsáveis da produção se sentem desconfortáveis com as quantidades reduzidas de inventário pois são avaliados por manter uma utilização elevada dos equipamentos, e a variação dos pedidos do cliente é tão frequente que o apagar de incêndios no controlo do inventário é o modo normal no meio produtivo.

A proposta para dimensionamento dos *buffers* é a seguinte:

1. Identificar a dimensão do *buffer* ideal que providência uma utilização óptima da restrição;
2. Marcar a dimensão do *buffer* actual e a ideal num gráfico de controlo;
3. Reduzir a dimensão do *buffer* gradualmente até atingir o *buffer* ideal.

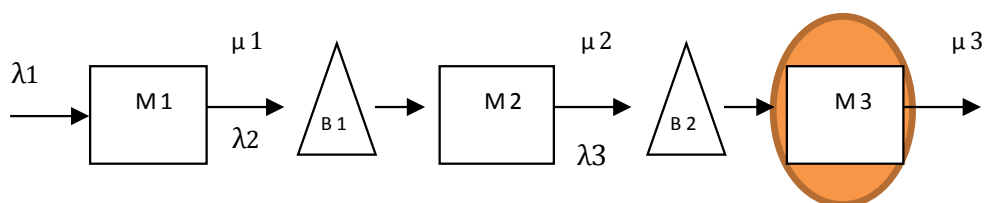
A função do *buffer* é absorver variações dentro do sistema que assegure os níveis de produção esperados. Estas variações podem ser originadas pela incerteza na chegada dos componentes, avarias das máquinas, tempos de processamento desconhecidos e níveis de qualidade variáveis.

O objectivo da produção deve ser a minimização da dimensão do *buffer* mas mantê-lo de modo a sustentar as produções desejáveis. Devido à taxa de produção depender da disponibilidade do processo restrição, a métrica crítica é a seguinte:

$P_o$  = Probabilidade de não haver inventário antes da restrição.

O DBR é utilizado para controlar o inventário total no CONWIP (*Constant Work in Process*) desde o primeiro processo até ao processo restrição e não para controlar apenas o inventário antes da restrição.

Assumindo que o fluxo de produção é o apresentado na figura 3.8.



**Figura 3.8- Fluxo Produtivo até ao Processo Restrição M3**

Onde:

$M_i$  = Processo  $i$

$B_i$  = Fila  $i$

$\mu_i$  = Taxa de Serviço do Processo  $i$ , ( $N^\circ$  Médio de Peças Produzidas por Período de Tempo)

$\lambda_i$  = Taxa de Chegadas ao Processo  $i$ , (Nº Médio de Chegadas por Período de Tempo)

$\rho = \lambda/\mu$  (Factor de Utilização do Processo)

$\mu_i = \lambda(i + 1)$

O processo 3 é o processo restrição da cadeia de valor e os processos a jusante do processo restrição não fazem parte do modelo. As filas internas não são limitadas em dimensão e seguem a mesma distribuição. As encomendas ao sistema são idênticas nos tempos de processamento em cada processo e os custos e os ganhos gerados por cada encomenda são idênticos neste modelo.

Admitindo a distribuição de Poisson no número de chegadas ao sistema, a distribuição exponencial negativa nos tempos de serviço de cada processo e uma disciplina de serviço FCFS (*First Come, First Service*), isto é o primeiro lote de peças a chegar ao processo é o primeiro a ser produzido, como disciplina de serviço e um canal único (serviço único para cada processo), então a Teoria de Filas de Espera pode ser utilizada para analisar a resposta de cada fila de espera (Tavares, 1996).

No ciclo DBR sempre que um lote é finalizado na restrição outro é iniciado, logo a taxa de chegadas ao sistema é igual à taxa de produção da restrição.

Os *buffers* DBRs (medidos em unidades de tempo) podem então ser determinados do seguinte modo (Tagawa, 1999) :

$$\text{DBR Buffer (B}_{\text{DBR}}) = (L_{q1} + L_{q2} + N_1 + N_2) * T_B \quad (3.5)$$

Onde:

$B_{\text{DBR}}$  = Dimensão do *buffer* Ideal

$T_B$  = Tempo de Processamento de cada Lote no Processo Restrição

$N_1, N_2$ , = Número de Lotes nos Processos 1-2

$L_{q1}, L_{q2}$  = Número de Lotes nas Filas 1-2

Assumindo que cada lote utiliza o mesmo tempo de processamento na restrição ou seja:

$$\text{DBR Buffer (B}_{\text{DBR}}) = (L_1 + L_2) * 1/\mu_3 \quad (3.6)$$

Onde:

$L_i$  = Número médio de lotes no sistema

## Dimensão dos Inventários entre dois Processos Não Restritivos

Para cada dois processos não restrição, a sua utilização é menor do que 1. A utilização do modelo M/M/1 da Teoria das Filas de Espera (Tavares, 1996) permite determinar o número médio de lotes à espera na fila. Devido a serem filas de dimensão não controlada, o seu limite não é uma preocupação.

As equações relevantes são as seguintes:

$$Po = (1 - \rho), \quad \text{se } (\rho \leq 1) \quad (3.7)$$

$$Li = \frac{\rho_{i+1}}{1 - \rho_{i+1}} \quad \text{para } i \geq 1 \quad (3.8)$$

Onde:

$Po$  = Probabilidade da dimensão da fila ser nula

$L_i$  = Número médio de lotes no sistema

$\rho$  = Taxa de Utilização do Processo

A utilização de cada processo não restritivo é conhecido e pode ser utilizado para calcular  $L_i$ .

## Dimensão dos Inventários entre um Processo Não Restritivo e o Processo Restritivo

Para determinar as variáveis do *buffer* será utilizado o modelo M/M/1/K

$$Po = \frac{1-\rho}{1-\rho^{K+1}} \quad \text{para } \rho \neq 1 \quad (3.9)$$

$$Ls = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{(K+1)\rho^{K+1}}{1-\rho^{K+1}} \quad (3.10)$$

$$Po(K) \leq \alpha \quad (3.11)$$

Onde:

Ls = Número médio de lotes no sistema

$\alpha$  = Limite máximo da probabilidade da dimensão do *buffer* ser nula, (se o objectivo for não ter o *buffer* nulo mais do que 1% do tempo,  $\alpha$  deve ser 0,01)

K= Dimensão do *buffer*

A equação 3.11 representa que a probabilidade do *buffer* antes da restrição ser nulo é menor que uma pré-determinada constante  $\alpha$ . Utilizando a equação 3.12 o *buffer* mínimo que providência um determinado  $\alpha$  para um específico  $\rho$  pode ser determinado (Tawaga, 1999).

$$K \geq \frac{\ln\left(\frac{(\rho+\alpha-1)}{\alpha}\right)}{\ln(\rho)} - 1 \quad (3.12)$$

No entanto de acordo com Tagawa (1999) é possível determinar os níveis de inventário através de um critério de optimização. Possuir inventários elevados pode aumentar a produção mas também aumenta os custos operacionais.



Utilizando o método de *Radovilsky's* citado por Tagawa (1999) para analisar os *buffer's* temporais, o K pode ser analisado para otimizar os resultados da organização, balanceando o custo de posse de inventários versus o aumento da produção, de acordo, um determinado nível de inventário.

Utilizando as seguintes equações para o cálculo do lucro líquido:

$$\text{Lucro Líquido (NP)} = \text{Resultados-Despesas Operacionais} \quad (3.13)$$

$$\text{Resultados (TH)} = \text{Vendas} - \text{Custo de Material} = \mu(1 - Po) * C_{TH} \quad (3.14)$$

$$\text{Despesas Operacionais (OE)} = Ls * C_{OE} \quad (3.15)$$

Onde:

$C_{OE}$  = Custos de Posse de Inventário

$C_{TH}$  = Resultados por Unidade Vendida= Preço Unidade-Custo de Material

$Ls$  = Número Médio de Unidades no Sistema

Os resultados são obtidos através das vendas menos o custo de material por componente. Se cada componente é considerado idêntico, os resultados obtidos também são idênticos.

Combinando as equações 3.10, 3.13-3.15 obtêm-se a seguinte equação como resultado:

$$NP = \mu(1 - Po)C_{TH} - Ls * C_{OE} \quad (3.16)$$

Combinando as equações 3.10 e 3.13 a 3.15 obtêm-se:

$$NP = \mu \left( 1 - \frac{1-\rho}{1-\rho^{k+1}} \right) C_{TH} - C_{OE} * \left( \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{(K+1)\rho^{k+1}}{1-\rho^{k+1}} \right) \quad (3.17)$$

A equação 3.17 representa o lucro líquido que é obtido mantendo K unidades no *buffer* antes da restrição. Para maximizar o lucro líquido o diferencial da equação com um determinado K deve ser calculado. A equação é não linear, no entanto, pode ser otimizada utilizando o Solver do Excel para um determinado  $C_{TH}, C_{OE}$ , utilização que resultará na dimensão do *buffer* ideal.

Assim será obtido a dimensão do *buffer* que otimiza os resultados da organização sem a necessidade de arbitrariamente estipular um  $\alpha$  objectivo.

As entradas no Excel Solver serão então as seguintes:

Função Objectivo (Maximizar): NP

Variáveis de Decisão: K

Restrições:  $K > 0$

Uma vez determinado K da equação de optimização e as filas individuais determinadas através da equação 3.8, o B DBR pode ser determinado:

$$\text{DBR Buffer (B DBR)} = (L_1 + L_2) * 1/\mu_3$$

## Controlo do Inventário

A figura 3.9 representa um gráfico de controlo que tem como objectivo analisar o sistema DBR, comparando o *buffer* diário real com o ideal. Se a dimensão do *buffer* está sob controlo mas sempre acima do valor objectivo é evidente que o BDBR deve ser reduzido. Se a dimensão do *buffer* varia com muita frequência (coeficiente de variação > 1), os responsáveis pela produção devem realizar uma análise para determinar as causas de variação e comparar o custo da redução da variação com os benefícios resultantes da redução do inventário.

O gráfico de controlo tem dois objectivos principais: gerir diariamente a quantidade de inventário na cadeia de valor e gerar um plano de redução de inventários de modo a atingir os valores ideais.

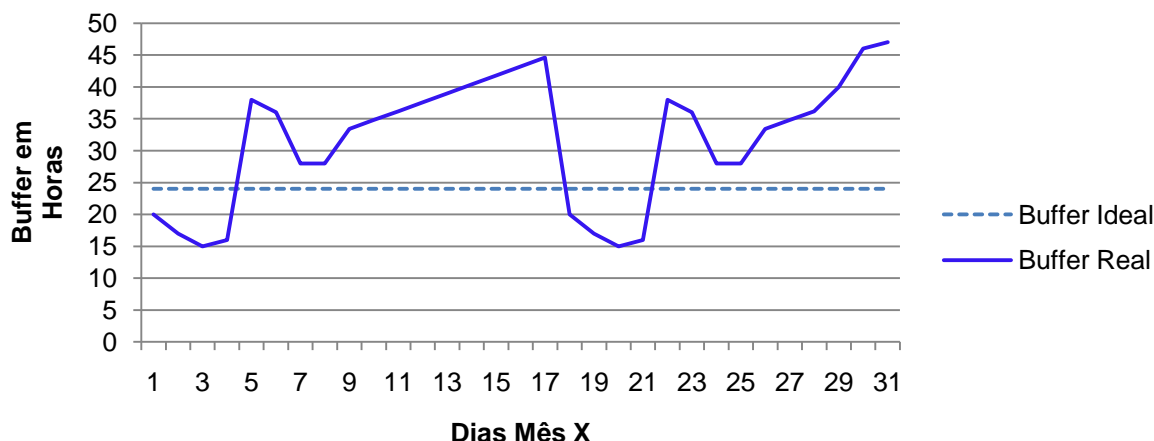


Figura 3.9- Gráfico para Controlo de Inventário

### 3.4 Elevar a Restrição

Se a capacidade da restrição não aumentou o suficiente com a implementação dos passos anteriores então é necessário fazer os investimentos necessários, isto é adicionar equipamentos ou trabalhar em horário extraordinário.

Neste passo todas as oportunidades para explorar ao máximo a restrição já foram realizadas. Por vezes é necessário investir para aumentar a capacidade de todo o sistema, de modo a eliminar a restrição, no entanto, vai surgir uma nova restrição.

A grande diferença entre os passos explorar e elevar é a necessidade de investir. No entanto, não deve ser permitido que a inércia se torne a restrição do sistema. A produção poderia continuar a ser programada como se a restrição não tivesse mudado e a melhoria contínua do sistema terminaria. Segundo Goldratt (2001) em muitas empresas analisadas não foram encontradas restrições físicas mas sim restrições políticas sendo estas restrições em muitas situações mais difíceis de quebrar.

## 4 Aplicação do Modelo Proposto para a Sincronização de uma Cadeia de Valor

O estudo de caso que se apresenta foi desenvolvido na *DELPHI* Seixal pertencente à multinacional *Delphi Automotive Systems*. A empresa é um fornecedor de componentes para a indústria automóvel que no Seixal se dividem em quatro áreas de negócio: Ignições *Pencil Coils*, Sensores, Ignições *Plug Top Coils* e Válvulas e cuja distribuição no *layout* da fábrica pode ser visto na figura 4.1.

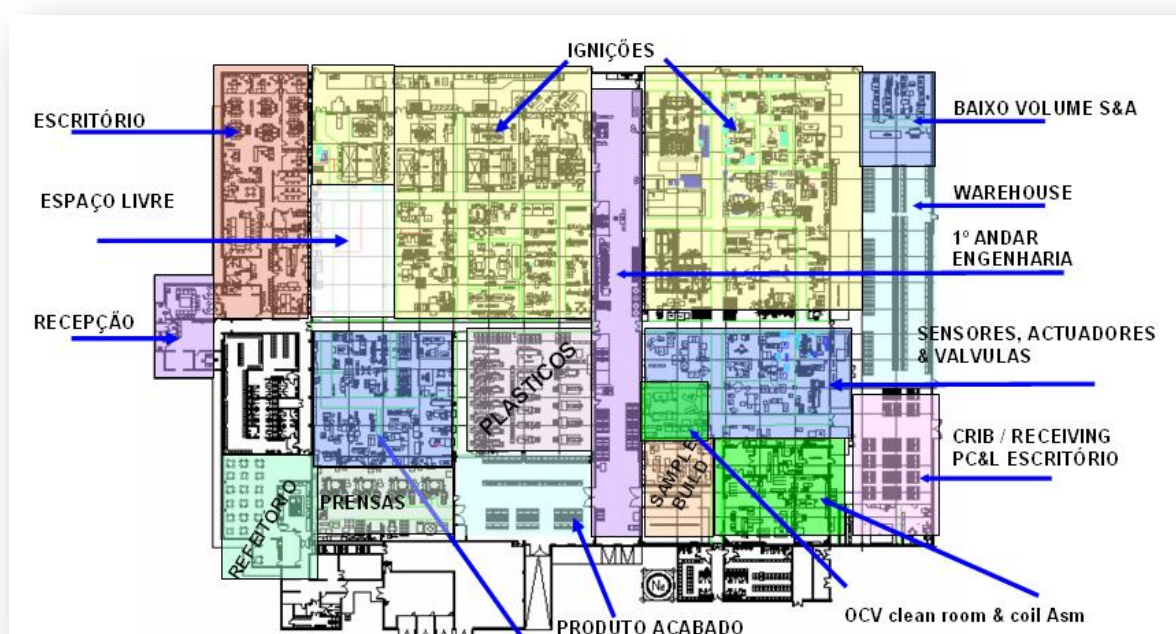
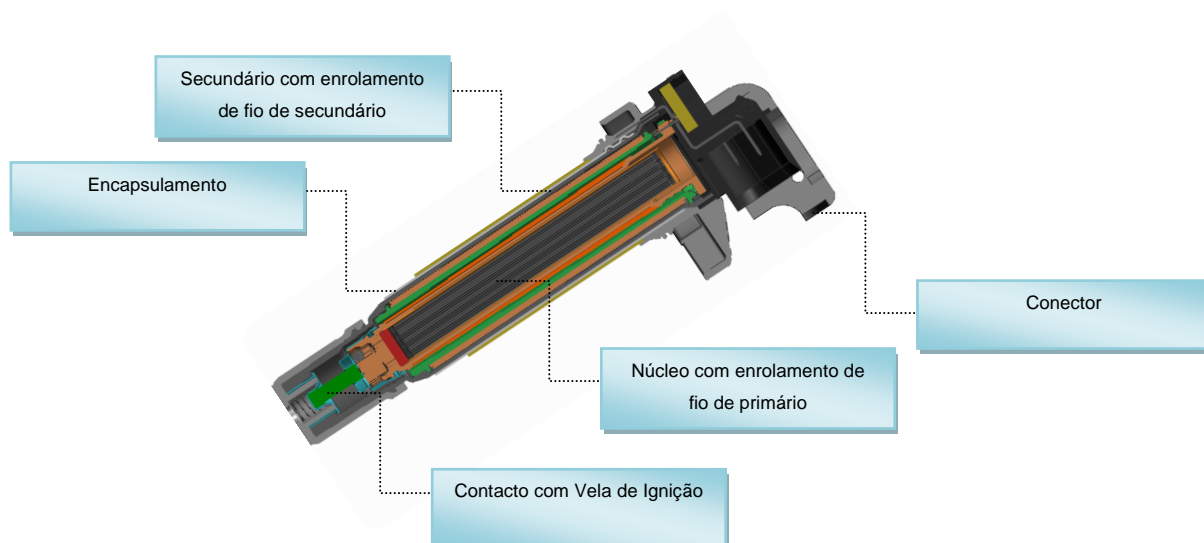


Figura 4.1- Layout da Fábrica do Seixal

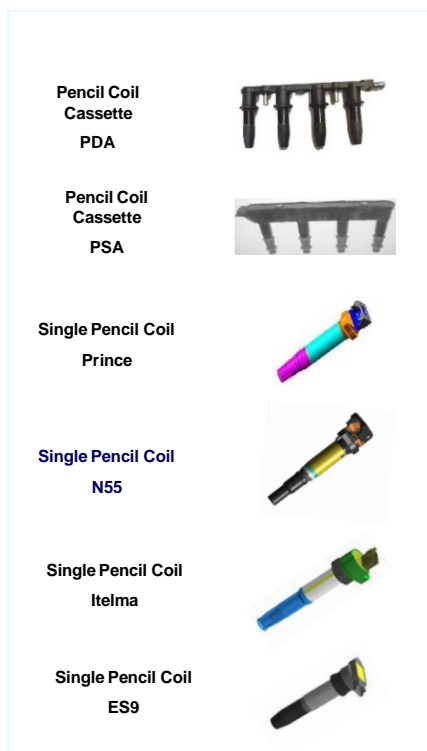
O estudo de caso foi realizado na família das Ignições *Pencil Coils* com utilização de bobinas plásticas. A função desta ignição nos motores automóveis de combustão interna que usam como combustíveis gasolina, metanol ou gás, é a de um simples transformador que, ao contrário dos transformadores da rede eléctrica que reduzem a tensão para seu uso, a bobina aumenta a tensão para provocar uma faísca dentro da vela de ignição e originar a combustão no cilindro do motor. As bobinas plásticas têm como função gerar a alta tensão necessária para produção de faíscas nas velas de ignição.

As dimensões compactas, peso reduzido, resistência às vibrações e elevada potência, são algumas das vantagens oferecidas por estas bobinas. Além disso estas bobinas possibilitaram o aparecimento dos sistemas de ignição directa, ou seja, sistemas com bobinas para cada vela ou par de velas, eliminando dessa forma a necessidade do distribuidor. Com as suas características inovadoras, as bobinas plásticas garantem um perfeito funcionamento dos actuais sistemas de ignição, em função da obtenção de tensões de saída mais elevadas. A bobina é formada por dois enrolamentos: primário e secundário. O enrolamento primário tem poucas voltas de um fio mais grosso e o enrolamento secundário é formado por milhares de voltas de um fio mais fino. A relação entre as voltas do enrolamento primário e do enrolamento secundário determinam a tensão que vai sair no terminal de alta tensão para o enrolamento de baixa tensão. Para isolar a bobina do contacto exterior é efectuado o encapsulamento desta através do vazamento de uma resina e da sua cura, ver figura 4.2.



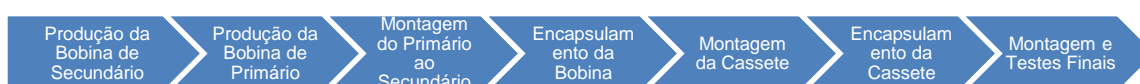
**Figura 4.2- Principais Componentes de Pencil Coil**

Actualmente a área de negócio dos *Pencil Coils* é constituída por seis produtos diferentes. A peça final de dois produtos é apresentada na forma de cassete, com a utilização de dois processos produtivos extra. A cassete é constituída por quatro bobinas individuais. Os produtos no formato cassete são os dois primeiros mostrados na Figura 4.3. Os outros quatro produtos como o seu nome indica são constituídos apenas por uma bobina.



**Figura 4.3- Produtos da Cadeia de Valor dos *Pencil Coils***

O processo produtivo é constituído por vários segmentos produtivos em cadeia e que estão divididos por inventários intermédios. Os segmentos principais e que vão fazer parte do estudo de caso são os apresentados na Figura 4.4.



**Figura 4.4- Sequência do Processo Produtivo dos *Pencil Coils***

Esta empresa foi escolhida para a realização do estudo de caso devido à facilidade de aplicação do modelo proposto. O sistema produtivo da empresa utiliza desde o final dos anos 90 as ferramentas da produção *Lean* para conduzir as suas actividades de melhoria contínua, no entanto, nem todas as ferramentas *Lean* têm tido a sustentabilidade prática que comprove a sua eficácia e a sua aplicação a todos os ambientes produtivos.

## 4.1 Definir, Compreender e Avaliar o Sistema

O objectivo principal da empresa é assegurar a entrega das encomendas aos clientes sem a necessidade de recorrer a transportes especiais de custo elevado, isto é garantir o envio do produto certo na quantidade e no momento exacto. No entanto, devido a algumas restrições físicas no meio produtivo, esforços extra de recursos humanos e materiais são exigidos. Como exemplo de esforço humano é o tempo dispendido pelos coordenadores da área para assegurar que os embarques semanais para os clientes são cumpridos. E como exemplo de recursos materiais extra são os inventários intermédios entre os segmentos produtivos da cadeia de valor que carecem de análise de oportunidades de redução das suas dimensões actuais e localizações certas.

O primeiro passo foi mapear as ligações entre os processos produtivos. Como o estudo de caso abrange os processos principais da cadeia de valor dos *Pencil Coils* apenas é mapeada a ligação entre os mesmos, excluindo-se do mapa os fornecedores, clientes e os processos de submontagens.

Alguns segmentos produtivos são dedicados a cada um dos produtos. No entanto, outros são partilhados por vários produtos, no caso da *Potter Coil* esta é partilhada por todos os *Pencil Coils*. No mapa da Figura 4.5 os blocos simbolizam os segmentos produtivos e os triângulos azuis simbolizam os inventários intermédios entre os segmentos. As setas simbolizam o fluxo de material e de acordo com a simbologia do mapeamento da cadeia de valor as barras dentro das mesmas representam o fluxo do material através do sistema de produção *push* (empurrar a produção). No meio produtivo entre cada segmento não é perceptível qual a dimensão máxima dos inventários e se as quantidades existentes correspondem ou não a excesso de produção. Através do mapa podemos verificar que a programação da produção é enviada para o último processo.

### Programação da Produção

O planeamento da produção a curto prazo tem uma periodicidade semanal e depois de o departamento de logística nivelar os pedidos dos clientes por um período de cinco dias da semana seguinte com a capacidade produtiva e programar a produção num período de três dias, comunica a mesma para uma semana firme e a previsão para as seis semanas seguintes ao departamento de produção.

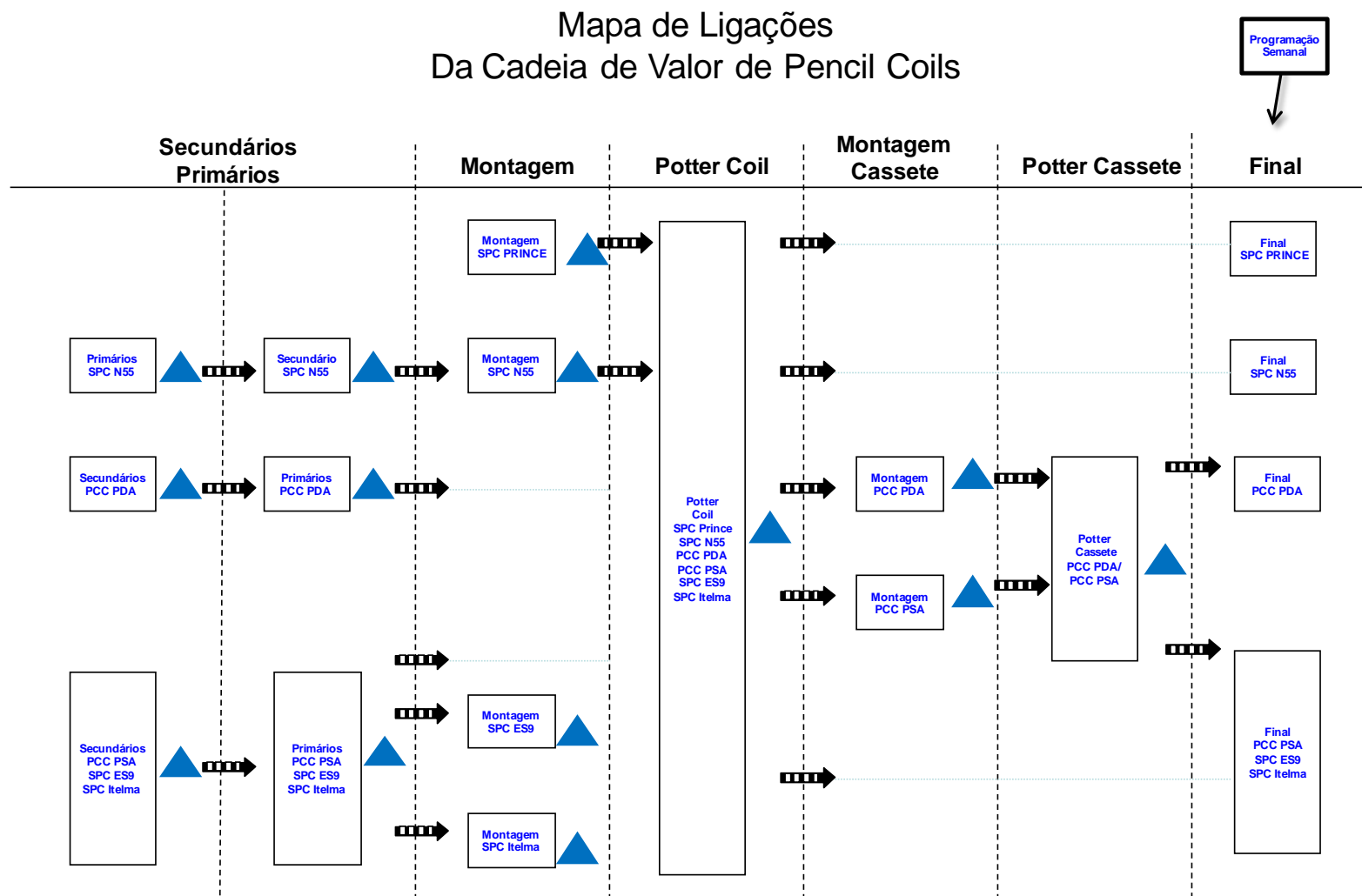


Figura 4.5- Mapa de Ligações Actual da Cadeia de Valor dos *Pencil Coils*



Os produtos que pertencem ao grupo A e B da análise ABC mantêm um *stock* de segurança de um dia de produto final, no entanto, os produtos que pertencem ao grupo C são produzidos apenas de acordo com os pedidos dos clientes. No entanto, o objectivo do departamento de logística é não manter inventários de produto final e produzir de acordo com os pedidos dos clientes, para tal é necessário diminuir os tempos de processamento e adquirir a estabilidade no meio produtivo.

## Análise ABC dos Pedidos dos Clientes

Os seis produtos que fazem parte da cadeia de valor dos *Pencil Coils* foram divididos pelos grupos ABC de acordo com a respectiva proporção de volumes em relação ao volume total.

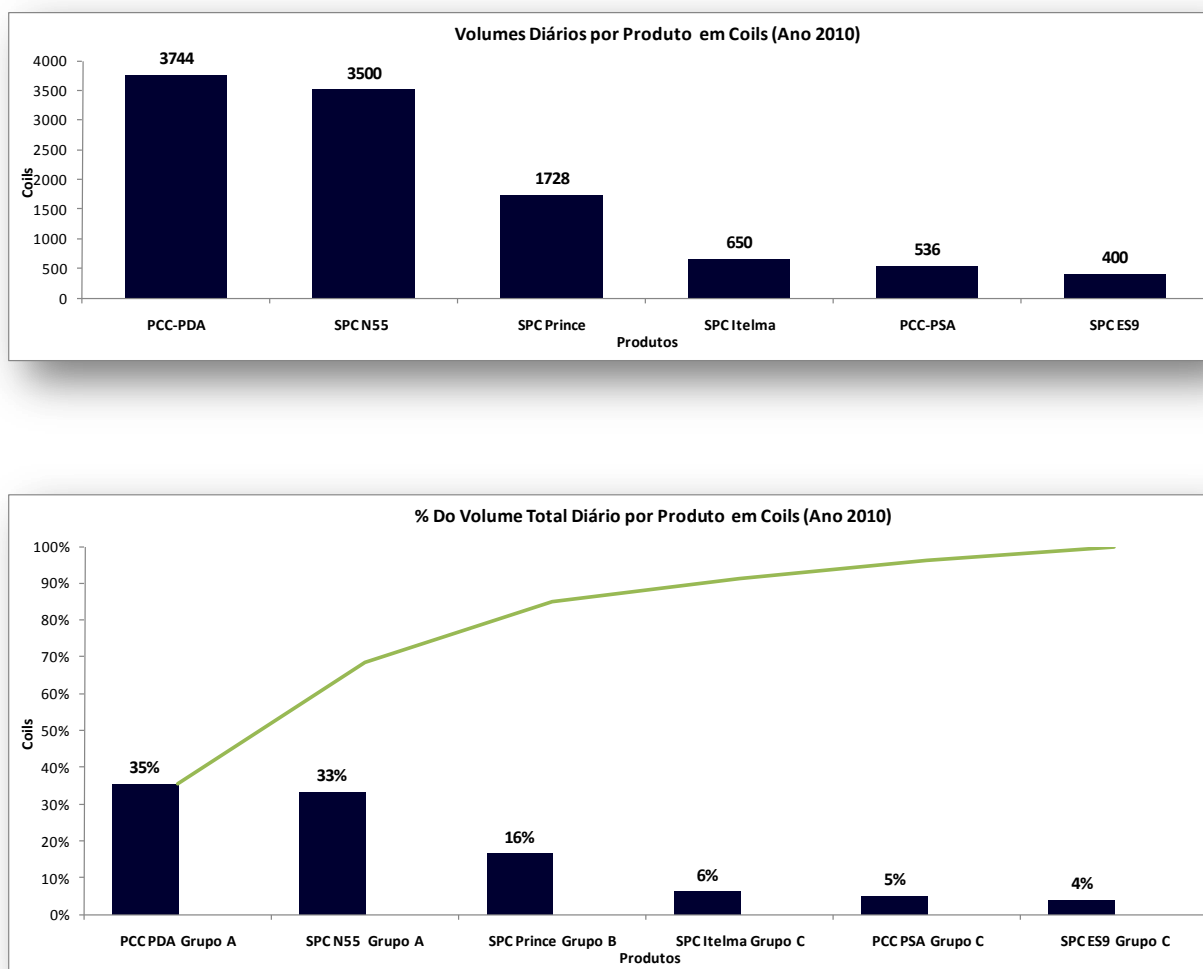
Na Figura 4.6 são representados graficamente os pedidos diários médios para o ano de 2010 para cada um dos produtos. Todos os volumes são representados em *Coils* e na análise ABC é possível concluir que os produtos PCC PDA e SPC N55 representam aproximadamente 70% da procura diária e são considerados *High Runners*, o SPC Prince representa cerca de 16% da procura diária e é um *Medium Runner* e os produtos SPC Itelma, PCC PSA e SPC ES9 pertencem aos *Low Runners* e representam 15% da procura diária.

## Tempos de Processamento e Capacidade Produtiva

Para compreender o sistema em estudo é necessário conhecer a capacidade do fluxo produtivo de cada produto e os tempos de processamento de produção. Assim nos gráficos apresentados nas figuras 4.7 e do Anexo I para cada produto, as barras a azul representam a capacidade diária em peças finais de cada segmento e as barras a laranja com a designação de *WIP (Work in Process)* os níveis de inventário em peças depois de cada segmento, para cada produto.

As quantidades de inventário correspondem aos valores médios de Fevereiro, mês representativo do ano de 2010 dos pedidos do cliente, isto é, os volumes de Fevereiro para cada um dos produtos que pertencem à cadeia de valor dos *Pencil Coils* são valores próximos dos valores médios diários de 2010. Os pedidos médios diários são representados

pela linha amarela e podem ser comparados com as capacidades de cada segmento e com os níveis de inventário.

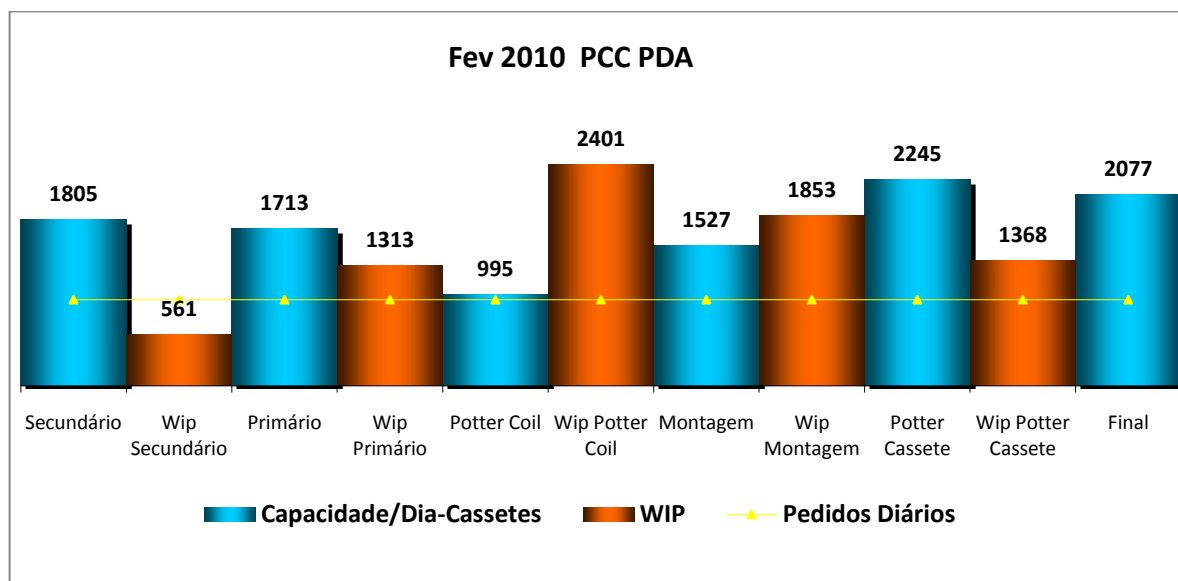


**Figura 4.6- Distribuição da Procura pelos Produtos da Família dos *Pencil Coils***

Nos gráficos apresentados nas figuras 4.8 e do Anexo II também para cada produto é possível visualizar o tempo de processamento em horas de uma paleta de produto final, para o qual contribuem os níveis de inventários intermédios entre os segmentos.

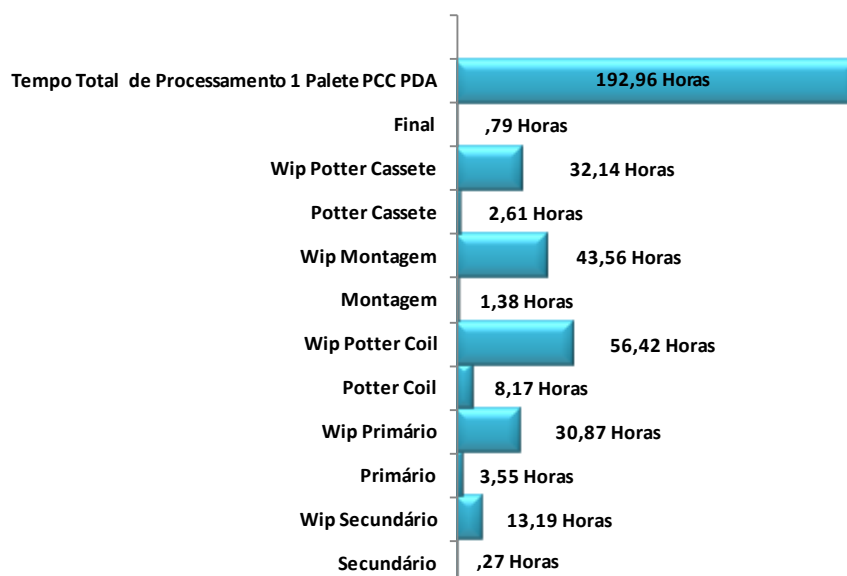
No gráfico do tempo de processamento é possível comparar o número de horas de processamento do lote de transferência em cada segmento com os inventários intermédios em número de horas, o seu valor foi obtido através da divisão do número de peças em inventário pela procura diária. O tempo de processamento do segmento final corresponde ao tempo de produção de uma paleta a enviar para o cliente, assumindo que este segmento não espera pelas peças dos processos a montante devido à existência permanente de inventários intermédios.

Para o produto PCC PDA cujo produto final é uma cassete e para a qual são dedicados os processos de montagem e de Vazamento da Cassete é possível verificar através da figura 4.7 que o processo com menor capacidade é a *Potter Coil*.



**Figura 4.7- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de PCCPDA**

Na figura 4.8 é possível verificar qual o tempo de processamento total para este produto em horas.

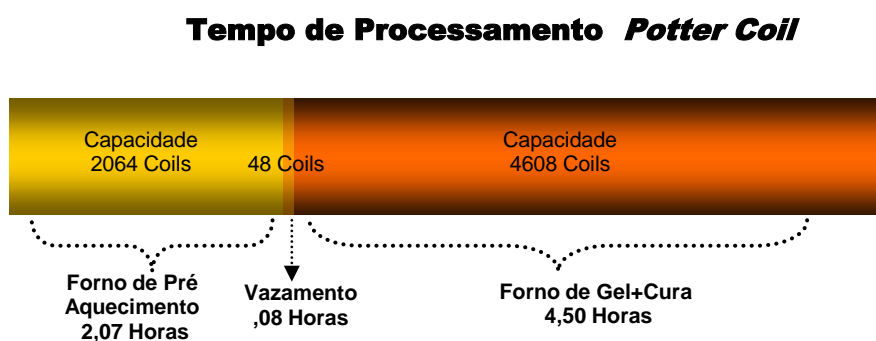


**Figura 4.8- Tempo de Processamento de PCCPDA**

## 4.2 Identificar a Restrição

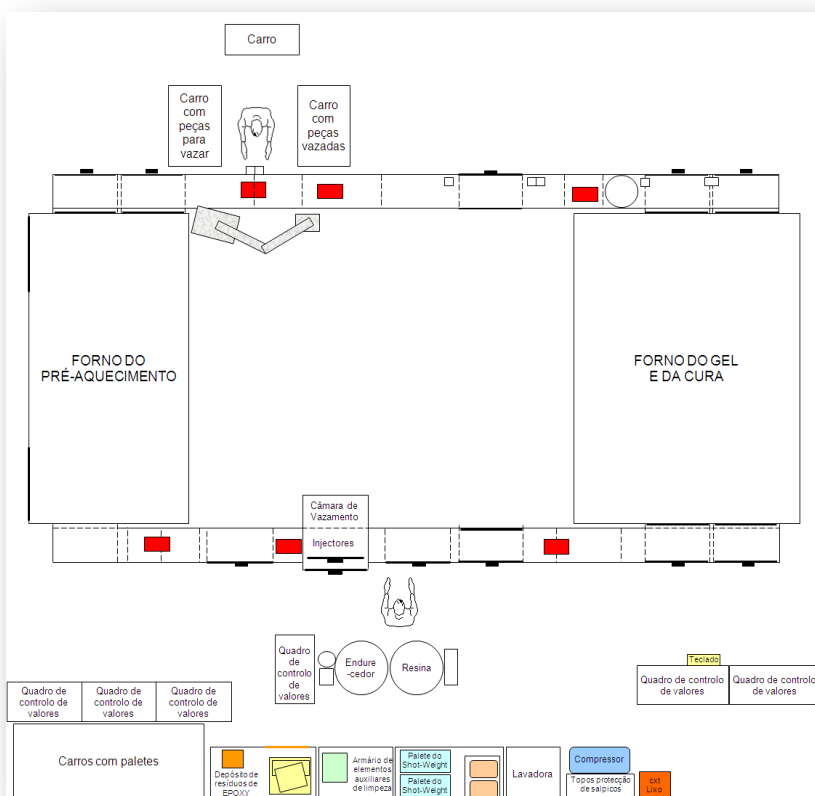
Depois de analisadas as capacidades dos processos individuais de cada produto que pertencem à cadeia de valor concluiu-se que o processo restrição é a *Potter Coil*. A capacidade total diária deste equipamento é superior a qualquer um dos processos individuais, no entanto como o equipamento é partilhado por todos os *Pencil Coil*'s o tempo de produção alocado a cada um dos produtos depende dos volumes médios diários e do tempo de ciclo de cada produto.

Através da Figura 4.9 é possível verificar qual a quantidade máxima de peças que é possível manter em cada um dos fornos. A quantidade mínima a produzir corresponde ao número de peças de cada palete, isto é, 48 peças, sendo este o lote de transferência mínimo dentro do sistema da *Potter*.



**Figura 4.9- Tempo de Processamento dos Sub-Processos da *Potter Coil***

Este processo cujo *layout* e número de operadores que suportam o funcionamento do equipamento pode ser analisado na figura 4.10 é constituído por três sub-processos sequenciais: o forno do pré aquecimento com um tempo de processamento de duas horas, a câmara de vazamento e o forno de cura com um tempo de processamento de quatro horas e 30 minutos.



**Figura 4.10-Layout e Fluxo de Material no Sistema da Potter Coil**

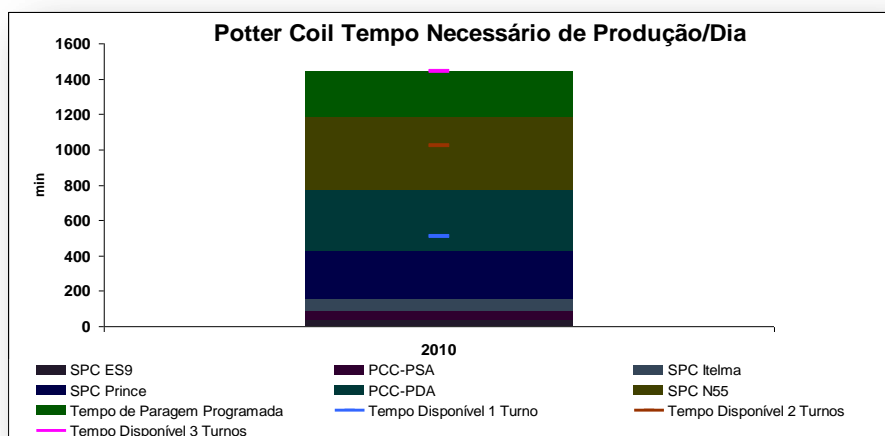
No quadro 4.1 é possível verificar quais os tempos de ciclo e que entre os três subsistemas que constituem o sistema é a câmara de vazamento a restrição, no entanto note-se que os tempos de ciclo são diferentes de produto para produto devido essencialmente à configuração e às características dos componentes de cada um.

Na figura 4.11 é possível analisar o tempo diário necessário para a produção dos volumes médios para o ano de 2010 de cada um dos produtos. É também possível comparar o tempo total necessário de produção diária com o tempo acumulado dos turnos disponíveis e concluir que a utilização da *Potter Coil* é de 100%. Para o cálculo da ocupação do equipamento foram consideradas as horas necessárias de produção de acordo com o tempo de ciclo de cada produto e um OEE de 90%.

Quadro 4.1- Tempo de Ciclo dos Sub-Processos da *Potter Coil*

	Forno de Pré	Forno de
Potter Coil	Aquecimento	Gel+Cura
Nº Horas Processamento	2,07 Horas	4,50 Horas
Nº Coils em cada Sub-sistema	2064	4608
Tempo de Ciclo/peça	3,61 seg	3,52 seg

Produto	Câmara de Vazamento Tempo Ciclo/ Peça
PCC-PDA	5,00 seg
SPC N55	6,34 seg
SPC Prince	8,30 seg
SPC Itelma	5,93 seg
PCC-PSA	5,00 seg
SPC ES9	5,00 seg

Figura 4.11- Tempo de Produção Diário do Sistema da *Potter Coil* em 2010

### 4.3 Explorar a Restrição

Explorar a restrição consiste em aumentar a capacidade do recurso impedindo qualquer tipo de desperdício. Um segundo perdido na restrição é um segundo perdido em toda a cadeia de valor, por este motivo é importante explorar todas as oportunidades de melhoria do processo restrição, como por exemplo é o rigoroso cumprimento das actividades de manutenção preventiva semanais que diminui a probabilidade de o equipamento avariar.

Há a salientar que 18% do tempo disponível diário corresponde a paragens planeadas que propositadamente estavam contempladas no cálculo da ocupação da restrição, durante os cinco dias úteis da semana. Pois as actividades que fazem parte das paragens planeadas têm de ser realizadas e a sua não contemplação no estudo, fazem muitas vezes com que estas sejam esquecidas assim como ficam também esquecidos os custos inerentes à sua realização nos fins de semana, isto é, fora do período normal de produção.

As paragens planeadas atrás referidas são as seguintes:

- 30 Minutos por dia para controlo de mistura dos materiais (resina e endurecedor);
- 60 Minutos por dia para controlo de peso dos materiais;
- 1,2 Horas por semana para arranque do equipamento;
- 4,5 Horas por semana para paragem do equipamento;
- 8 Horas por semana para manutenção preventiva do equipamento.

As causas de paragem da restrição foram analisadas e sugerida a possível redução de alguns dos tempos indisponíveis para produção durante o período normal de trabalho, assim a manutenção preventiva, apesar do custo associado passou a ser realizada nos sábados. E o arranque e a paragem do equipamento também passaram a ser efectuados no final de domingo no caso do arranque e no início de sábado no caso da paragem. Também foi verificado se os tempos de ciclo correspondiam aos tempos de ciclo pré-definidos, o que não provoca a paragem do equipamento mas a perda de produtividade do sistema. A análise da dimensão dos inventários intermédios pré-estabelecidos foi efectuada pois a escassez de peças coloca em risco a produção continuada do processo restrição.

O método de trabalho dos operadores alocados ao sistema foi analisado e depois de identificadas oportunidades de melhoria no método de trabalho, este foi standardizado. Foi definida a sequência de trabalho para o operador cíclico que carrega e descarrega as paletes no transportador interno do sistema e para o operador que realiza as várias tarefas de suporte à máquina desde os testes de qualidade, troca de matéria prima e mudanças de modelo, chamadas de tarefas não cíclicas.

Apesar de a mudança de modelos corresponder a um tempo reduzido, (pois apenas consiste na alteração do programa) a standardização das tarefas a realizar e a sua sequência devem ser cumpridos.

A identificação da localização das paletes de cada produto também foi efectuada e tem como objectivo evitar paragens do sistema sempre que é necessário carregar paletes no mesmo.

## **Nivelamento e Sequenciamento da Produção**

A *Potter* deve ser efectivamente o regulador da produção da cadeia de valor. E a programação define exactamente o número de lotes de produção necessários de cada produto. Neste ambiente de produção de vários modelos em que cada produto tem segmentos de produção dedicados e um segmento partilhado por todos os Pencil Coil's, os resultados da produção são controlados por este equipamento que é a restrição da cadeia de valor.

O quadro 4.2 apresenta os cálculos efectuados para definir qual o tamanho de lote de produção mínimo, o *pitch* de produção e o número total de *pitchs* diários. Podemos verificar na terceira coluna do quadro 4.2 o número de peças por carro, este será o tamanho de lote de produção ideal pois equivale a um lote de transferência, no entanto tentou-se uniformizar o tempo de produção na *Potter* de cada um dos lotes e assim para alguns produtos o lote de produção corresponde a dois lotes de transferência, a vantagem é a de que logo que 50% do lote de produção seja produzido pode ser transferido imediatamente para o processo seguinte.



Quadro 4.2- Nivelamento Diário da Produção

Nivelamento da Produção											
Produto	Procura Média Diária (Coils) 2010	Nº Coils/Carro	Tempo Ciclo/ Peça (seg)	Intervalo de Pitch (horas)	Lote Mínimo em Nº Carros	Intervalo de Pitch (horas)	Lote Mínimo em Coils	Lote Mínimo em Peças Finais	Nº Lotes/ Dia	Nº Lotes a Produzir/ Dia	Tempo de Produção Necessário (horas)
PCC-PDA	3744	1152	5	1,67	1	1,67	1152	288	3,25	4,00	6,4
SPC N55	3500	432	6,34	0,76	2	1,52	864	864	4,05	5,00	7,6
SPC Prince	1728	360	8,3	0,83	2	1,66	720	720	2,40	3,00	5,0
SPC Itelma	650	336	5,93	0,55	1	0,55	336	336	1,93	2,00	1,1
PCC-PSA	536	336	5	0,47	1	0,47	336	84	1,60	2,00	0,9
SPC ES9	400	480	5	0,67	1	0,67	480	480	0,83	1,00	0,7
Volume Total	10558										21,7

No quadro 4.3 é apresentado uma comparação entre o número exacto de lotes de produção necessários semanalmente, o número de lotes cuja dimensão foi aproximada para o número inteiro superior e o número de lotes a produzir de acordo com a programação da produção.

Note-se que este número é superior ao necessário no entanto, por razões de segurança é preferível ter esta programação já com mais tempo disponível para produção devido à redução dos tempos de paragem. Se o excesso de lotes for desnecessário estes devem ser desprogramados no final da semana, depois de atingido o valor que corresponde ao pedido semanal do cliente.

Quadro 4.3- Número de Lotes Semanal por Produto

Produto	Nº Lotes a Produzir/ Semana	Nº Lotes a Produzir/ Semana	Nº Lotes a Produzir (Programação)/ Semana
PCC-PDA	16,250	17,000	20
SPC N55	20,255	21,000	25
SPC Prince	12,000	12,000	15
SPC Itelma	9,673	10,000	10
PCC-PSA	7,976	8,000	10
SPC ES9	4,17	5,000	5

Produto	Nº Lotes a Produzir/ Dia
PCC-PDA	4
SPC N55	5
SPC Prince	3
SPC Itelma	2
PCC-PSA	2
SPC ES9	1

A sequência de produção dos lotes de produção foi definida pelo rácio entre a quantidade já produzida e a quantidade a produzir relativamente à encomenda semanal pois os tempos de mudança de modelo são desprezáveis. A sequência deve ser repetida o número de vezes necessário até que sejam produzidos o número de lotes semanais necessários, de acordo, com a programação, ver quadro 4.3.

No início da semana o número de lotes produzidos é igual a zero unidades e a sequência é iniciada pelo produto com maior procura, como pode ser visualizado na figura 4.12.



**Figura 4.12- Sequenciamento da Produção**

Para acompanhamento da evolução da produção deve ser feito um planeamento horário da entrada dos lotes no forno do pré aquecimento e deve ser comparado com a hora real de entrada do lote. O objectivo é verificar a ocorrência de atrasos nas encomendas e activar um plano de reacção que pode ser a simples troca de ordem de entrada dos lotes no sistema. A associação dos lotes de produção e de transferência à respectiva encomenda em produção deve ser realizada, para que o acompanhamento da execução da mesma e controlo dos *buffers* temporais seja possível.

Em situações em que há urgências de embarques e devido aos tempos de processamento serem longos deve ser calculado o rácio crítico como mostra o quadro 4.4. O cálculo foi efectuado para um tempo disponível restante para envio das peças de aproximadamente cinco dias, sendo este o motivo pelo qual os rácios obtidos têm valores elevados. Este sequenciamento é calculado para o processo restrição a *Potter Coil* logo o tempo de processamento restante corresponde ao tempo de processamento da *Potter* e aos tempos de processamento dos processos seguintes até ao processo final.

Quadro 4.4- Método RC para Sequenciamento da Produção

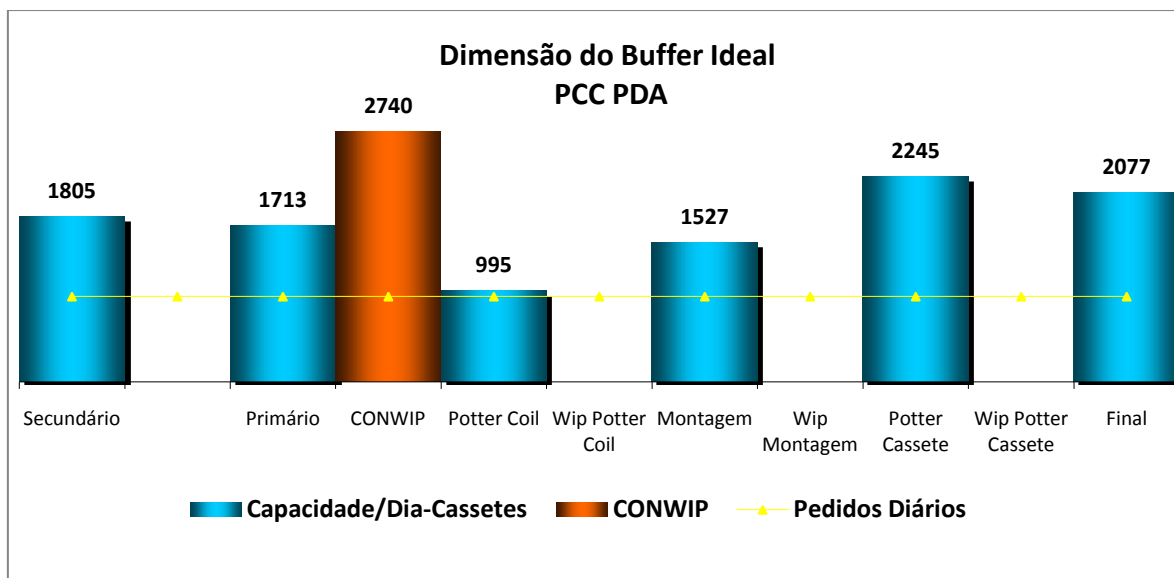
Envios de Peças para Cliente						
Produto	Data Actual	Envio	Tempo Disponível Restante para Envio (horas)	Tempo de Processamento Restante(horas)	RC	Prioridade
PCC-PDA	Quinta Feira	Quarta Feira Semana Seguinte	88	63,66	1,382	1
PCC-PSA	Quinta Feira	Quinta Feira Semana Seguinte	120	17,26	6,951	6
SPC ES9	Quinta Feira	Quinta Feira Semana Seguinte	120	30,11	3,985	4
SPC Prince	Quinta Feira	Sexta Feira Semana Seguinte	144	57,29	2,513	3
SPC Itelma	Quinta Feira	Quinta Feira Semana Seguinte	120	22,88	5,246	5
SPC N55	Quinta Feira	Sexta Feira Semana Seguinte	144	58,94	2,443	2

#### 4.4 Subordinar o Sistema à Restrição

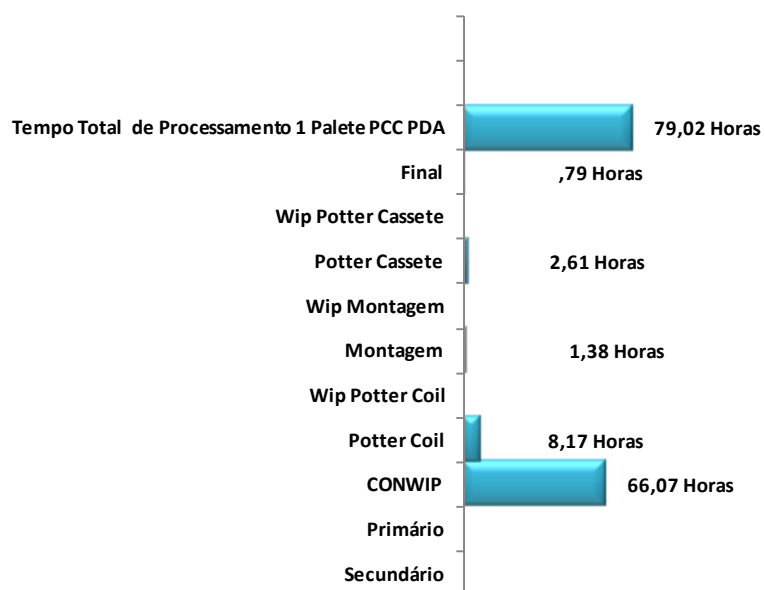
Uma organização que integra as ferramentas de TOC para atingir os melhores resultados não deve permitir que a programação não seja cumprida pelo motivo de falta de peças dos processos a montante. O *buffer* é o intervalo de tempo entre a chegada das peças ao ponto de controlo e a data prevista de chegada, de acordo, com a programação da produção. O mesmo conceito é aplicado em relação ao produto acabado, mas o objectivo é possuir o menor inventário possível devido aos custos de posse associados, é este o motivo pelo qual planear o melhor possível a produção na *Potter* se torna tão importante.

Procedeu-se ao cálculo do *buffer* em número de horas de produção do processo restrição que deve existir desde o primeiro processo até à restrição. O dimensionamento do mesmo foi calculado através da aplicação *Solver-Excel* para cálculo da variável de decisão que corresponde à dimensão do *buffer* antes da restrição tendo como objectivo maximizar a função objectivo lucro líquido. Os coeficientes são o custo de posse por unidade e os resultados por unidade vendida e os resultados obtidos para o tamanho dos *buffers* até à restrição, encontram-se representados graficamente para cada um dos produtos. Nas figuras 4.13 e 4.14 é possível visualizar os valores obtidos para o PCC PDA e no Anexo I é possível encontrar os resultados para os restantes produtos. Note-se que a designação para

o *buffer* é de CONWIP pois o objectivo é antecipar a produção do primeiro processo de modo a manter constante a quantidade de inventário até à restrição.



**Figura 4.13- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de PCC PDA com DBR**



**Figura 4.14- Tempo de Processamento de PCC PDA com DBR**

O DBR é utilizado para controlar o inventário total no CONWIP desde o primeiro processo até ao processo restrição e não para controlar apenas o inventário antes da restrição, no entanto no gráfico da figura 4.13 o *buffer* está localizado apenas antes da restrição, pois é neste ponto que deve ser acumulado para proteger a restrição.

No quadro 4.5 é apresentado o cálculo realizado para garantir o envio dos pedidos semanais para os clientes, que consiste no cálculo de *buffers* temporais para cada encomenda. Além do desfasamento temporal de programação das encomendas nos processos chave da cadeia de valor, isto é no processo final, no processo restrição e no primeiro processo, foi adicionado o número de horas relativas ao *buffer* DBR na programação do primeiro processo para criação do *buffer* necessário, para garantirmos o factor de segurança no sistema para protecção da restrição.

O acompanhamento da execução da produção deve ser feito através da programação previamente definida de acordo, com o quadro 4.6, no qual são apresentados os dias de antecedência de início de produção das encomendas. No inventário de produto final existe a folga de um dia que corresponde ao objectivo de tempo de espera do produto final para envio e desde o primeiro processo até à restrição existe o Buffer DBR.

**Quadro 4.5- Buffers Temporais**

Produto	Nº de Dias de Antecedência de Início de Produção de Encomenda no 1º Processo (dias)	Nº de Dias de Antecedência de Início de Produção de Encomenda na Potter (dias)	Nº de Dias de Antecedência de Início de Produção de Encomenda no Processo Final (dias)+Tempo de Espera de Produto Acabado ( 1 Dia)
PCC-PDA	8,4	4,9	4,4
PCC-PSA	2,6	1,9	1,4
SPC ES9	3,3	2,8	2,5
SPC Prince	6,1	4,6	4,3
SPC Itelma	3,2	2,3	2,1
SPC N55	8,2	4,7	4,4

Quadro 4.6- Cálculo dos *Buffers* Temporais

Envios de Peças para Cliente						
Produto	Tempo de Processamento Encomenda	Envio:	Quantidade Encomenda	Tempo de Processamento (horas) de Encomenda no Processo Final	Nº Horas Programadas na Final/Dia	Nº de Dias de Antecedência de Início de Produção de Encomenda no Processo Final (dias)+Tempo de Espera de Produto Acabado ( 1 Dia)
PCC-PDA	5 Dias	Quartas Feiras	4680	51	15	4,4
PCC-PSA	5 Dias	Quintas Feiras	670	6	15	1,4
SPC ES9	5 Dias	Quintas Feiras	2000	23	15	2,5
SPC Prince	5 Dias	Sextas Feiras	8640	50	15	4,3
SPC Itelma	5 Dias	Produção para Encomenda	3250	16	15	2,1
SPC N55	5 Dias	Sexta Feira	17500	52	15	4,4

Produto	Tempo de Processamento (horas) de 1º Processo até Potter (exclusive) + Buffer DBR (horas)	Nº Horas Programadas /Dia	Nº de Dias de Antecedência de Início de Produção de Encomenda no 1º Processo (dias)	Tempo de Processamento (horas) de Potter Coil (inclusive) até Final	Nº Horas Programadas na Potter/Dia	Nº de Dias de Antecedência de Início de Produção de Encomenda na Potter (dias)
PCC-PDA	70	24	7,9	12	24	4,9
PCC-PSA	18	24	2,6	11	24	1,9
SPC ES9	15	24	3,5	7	24	2,8
SPC Prince	37	24	6,2	8	24	4,6
SPC Itelma	24	24	3,4	7	24	2,3
SPC N55	83	24	8,2	7	24	4,7

## 4.5 Elevar a Restrição

Foram efectuadas as optimizações no processo restrição e tomadas as medidas necessárias para sincronizar a cadeia de valor com optimização de inventários. No entanto, de acordo com os volumes planeados, nomeadamente entre os anos de 2011 e 2013 é necessário adicionar capacidade ao sistema da *Potter Coil*, pois como pode ser observado na figura 4.15 na qual o tempo de produção diário necessário ultrapassa significativamente os 1440 minutos disponíveis diariamente.

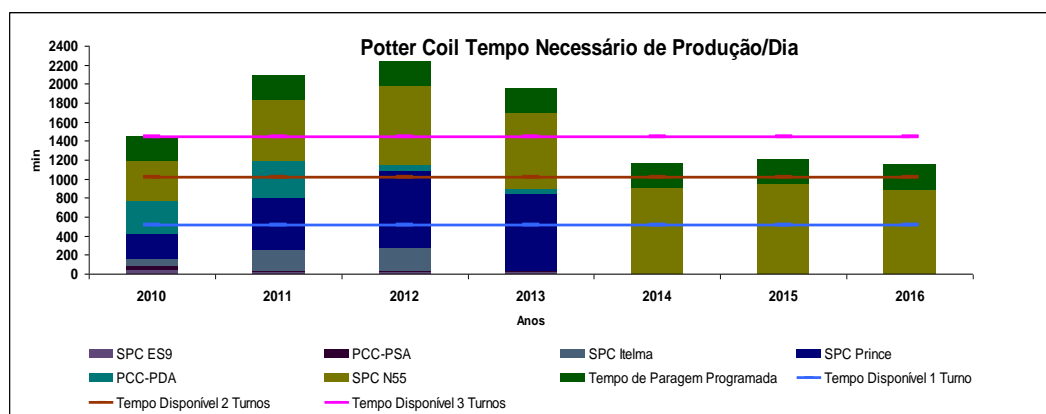


Figura 4.15- Tempo de Produção Diário do Sistema da *Potter Coil* entre 2010 e 2016

A medida de acção a tomar é a compra de uma segunda câmara de vazamento que permitirá para cada um dos produtos a duplicação da capacidade da câmara de vazamento.

## 4.6 Análise de Resultados

O mapa de ligações resultante da aplicação do modelo na figura 4.16 representa a localização do *buffer* ideal apenas antes do processo restrição a *Potter Coil*, a jusante as peças devem ser empurradas até ao processo final. Há a referir que podem existir alguns inventários intermédios entre os processos devido ao desfasamento de número de turnos de

produção, estes inventários não estão contemplados na cadeia de valor pois não são *buffers* estratégicos a controlar e a sua quantidade deve ser mínima não sendo permitida a sua acumulação resultado do excesso de produção.

A programação das encomendas deve ser controlada no processo final, na *Potter Coil* que é o regulador da produção da cadeia de valor e no primeiro processo da cadeia de valor, para que os *buffers* temporais sejam cumpridos.

Comparando a dimensão total dos inventários e dos tempos de processamento da situação inicial com a situação após aplicação do modelo através do quadro 4.7 é possível verificar que os valores reduziram em quatro produtos e aumentaram em dois fazendo a análise a cada produto individualmente mas no total da cadeia de valor dos *Pencil Coils* a aplicação do modelo obtém uma redução de 25% no total de inventário e uma redução de 60% no tempo de processamento.

**Quadro 4.7- Comparação de Inventários e Tempos de Processamento**

Antes da Aplicação do Modelo						
	PCC PDA	SPC N55	SPC Prince	SPC Itelma	PCC PSA	SPC ES9
WIP -Peças	7496	9614	2350	3279	1067	2288
TP-Horas	192,96	73,73	49,77	133,25	189,93	141,77
Resultados do Modelo						
	PCC PDA	SPC N55	SPC Prince	SPC Itelma	PCC PSA	SPC ES9
WIP -Peças	2740	13000	2750	600	100	220
TP-Horas	79,02	82,24	52,62	39,33	29,32	24,94

Antes da Aplicação do Modelo	
	Total
WIP -Peças	26094
TP-Horas	781,41
Resultados do Modelo	
	Total
WIP -Peças	19410
TP-Horas	307,47



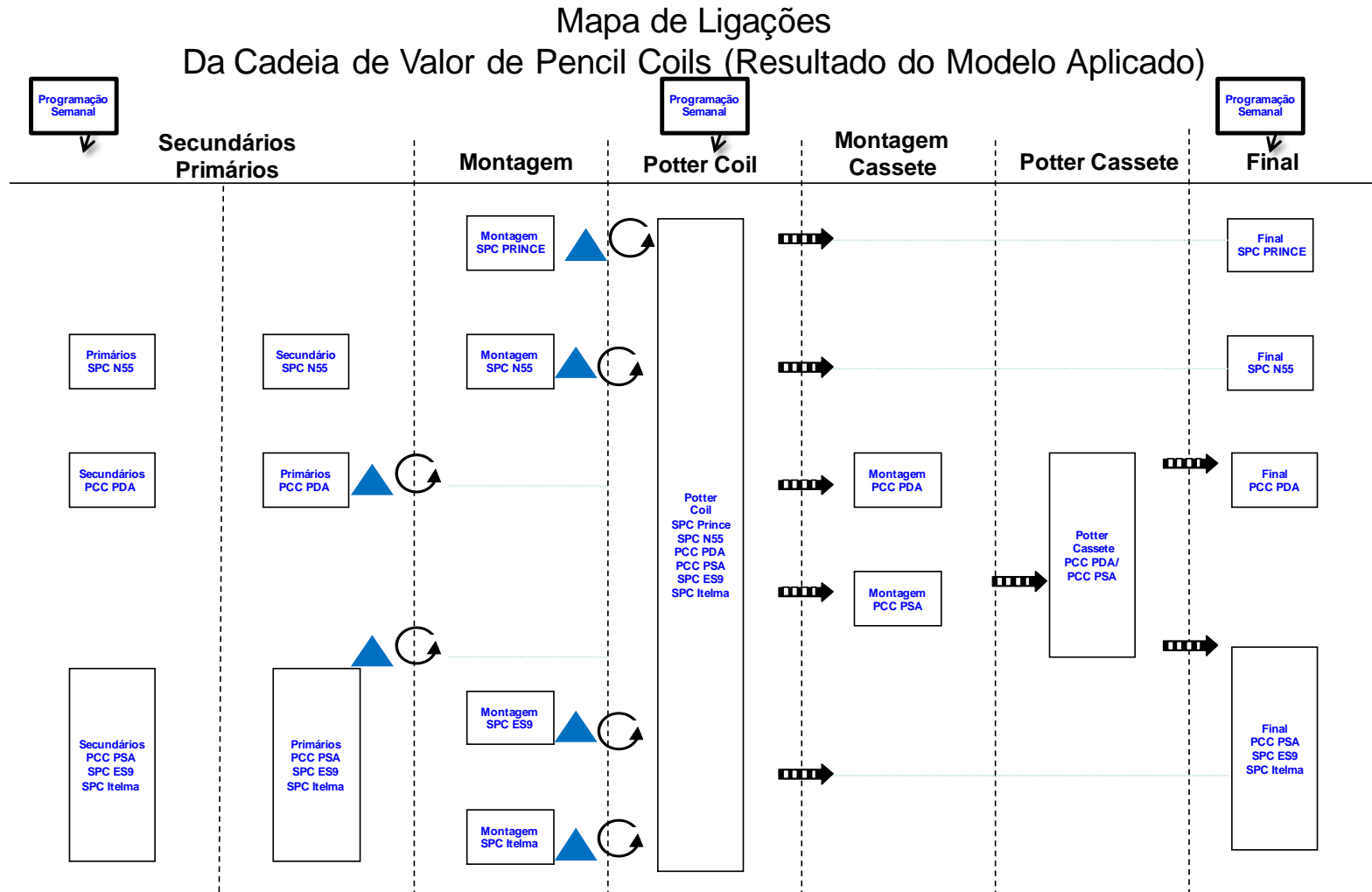


Figura 4.16- Mapa de Ligações da Cadeia de Valor de *Pencil Coils* depois da aplicação do modelo

## 5 Conclusões do Estudo e Recomendações

No estudo realizado concluiu-se que um sistema com produção sincronizada deverá ter como foco o balanceamento do fluxo produtivo e não das capacidades, sendo que o lote de transferência não necessita ser igual ao lote de produção e que o tempo disponível no processo restrição será igual a possível ganho.

As indústrias que consigam sobreviver hoje vão provavelmente tornar-se nas mais bem sucedidas no futuro. Estes dois componentes sobrevivência e sucesso requerem que os fabricantes da indústria automóvel ultrapassem as lacunas na performance para que sejam viáveis hoje e continuem a crescer no futuro com a aplicação das metodologias de melhoria contínua.

A integração das metodologias de melhoria contínua suporta diferentes situações com ferramentas específicas para cada e a combinação do melhor do *Lean* e do TOC cria um forte meio para melhorar e está perfeitamente alinhado com os objectivos do negócio, demonstrando resultados superiores aos da utilização de cada metodologia em separado. A integração das metodologias TOC e *Lean* e a priorização das actividades de melhoria contínua permitem que as ferramentas de cada uma trabalhem em harmonia e alcancem os resultados esperados pela gestão de redução de custos e melhoria da competitividade

- A TOC foi aplicada para criar um alinhamento sistemático e foco nos processos prioritários para alcançar os melhores resultados;
- As técnicas *Lean* para reduzir os desperdícios nos processos prioritários;

O sucesso do modelo desenvolvido pode ser resumido nos seguintes passos:

-Identificada a restrição da cadeia de valor foi possível a sua exploração com realização de várias acções de melhoria para aumento da sua eficiência assim como a definição do nivelamento e sequenciamento da produção no processo;

-Os tempos de processamento do fluxo produtivo na cadeia de valor são agora conhecidos para todos os produtos e permitem a implementação dos *buffers* temporais sem acumulação excessiva de inventários, obtendo uma redução de cerca de 60% com a eliminação de todos os inventários intermédios exceptuando o *buffer* estratégico;

-O modelo propõe um *buffer* físico antes do processo restrição, esta alteração apresenta uma redução de inventário em 25% em comparação com os valores reais de Fevereiro. Note-se que a procura diária de Fevereiro tem uma aproximação muito elevada à procura média para o ano de 2010 sendo a comparação entre a situação inicial e a apresentada pelo modelo aplicável ao ano por inteiro caso se concretizem as previsões da procura;

-A formação e o envolvimento da equipa de trabalho incluindo os gestores acerca ferramentas do modelo a utilizar são a chave para o sucesso da sincronização;

A acção ainda a realizar é a criação de espaço físico para acumulação do *buffer* antes da restrição.

É possível aplicar a metodologia em outros ambientes produtivos com a produção de mais de um produto no mesmo equipamento.

De acordo, com o trabalho desenvolvido e os resultados obtidos no estudo de caso, as recomendações para trabalhos futuros são as seguintes:

-Explorar outros modelos matemáticos para cálculo do *buffer* da restrição, a simplificação do fluxo linear entre dois processos pode criar imprecisões no modelo, pois o pressuposto de que a taxa de serviço é exponencialmente distribuída pode não ser válido devido à variação interna do processo. Para confirmar o nível de imprecisão, estudos futuros vão ser necessários para comparação dos resultados teóricos com os resultados obtidos por simulação;

-Utilizar modelos de simulação para análise do comportamento do sistema através da utilização de diferentes dimensões do *buffer* da restrição.

## 6 Referências Bibliográficas

- CARVALHO, D. (2004). TOC – Theory Of Constraints. Consultado a 20 de Janeiro, 2009, em [http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap09\\_TOC.pdf](http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap09_TOC.pdf).
- DETTMER, H. W. (1998). *Breaking the World-Class Performance*, Milwaukee, WI, USA: ASQ Quality Press
- DETTMER, H. W. (2003). *Strategic navigation: A systems approach to business strategy*. Milwaukee, WI, USA: ASQ Quality Press.
- GOLDRATT, E. M. & COX, J. (1992). *The Goal: An ongoing improvement process* (2th ed.). Great Barrington, MA, USA: North River Press.
- GOLDRATT, E. M. (2001), *Necessary but not sufficient* Aldershot, Gower. Great Barrington, MA, USA: North River Press.
- GUPTA, M. & SNYDER, D. (2008). Comparing TOC with MRP and JIT: a literature review. *International Journal of Production Research*, 1-35.
- HAMBLETON, L. (2008). *Treasure chest of Six Sigma: Growth methods, tools and best practices*. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education Inc.
- HINES, P., FOUND, P., GRIFFITHS, G. & HARRISON, R. (2008). Staying *Lean*, *Lean* Enterprise Research Centre, Cardiff University. *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 24, 47-51.
- JONES, D. T. (2006). Heijunka: Leveling Production. *Manufacturing Engineering*, Vol. 137, Pag 29.
- LIKER, J. K. (2003). *The Toyota Way*. New York: McGraw-Hill.
- MUIR, A. (2006). *Lean Six Sigma statistics: Calculating process efficiencies in transactional projects*. New York, USA: McGraw-Hill.
- NAKAJIMA, S. (1989). *TPM Development Program-Implementing Total Productive Maintenance*. Cambridge, MA: Productivity Press.
- NASLUND, D. (2008). *Lean, Six Sigma and Lean Sigma: fads or real process improvement methods?* *Business Process Management*, Vol. 14, 269-287.
- NAVE, D. (2002). How to compare Six Sigma, *Lean* and the Theory of Constraints. *Quality Progress*, March, 73-79.
- OHNO, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond large-scale production*. Productivity Press.
- PIRASTEY, R. M. & FARAH, K. S. (2006). Continuous Improvement Trio. *APICS Magazine*. May 2006, 31-33 .
- RAMOS, M. Z. & TENERA, A. (2009). *Leveling the Production of a Potting System: A TOC/Lean approach*. Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference

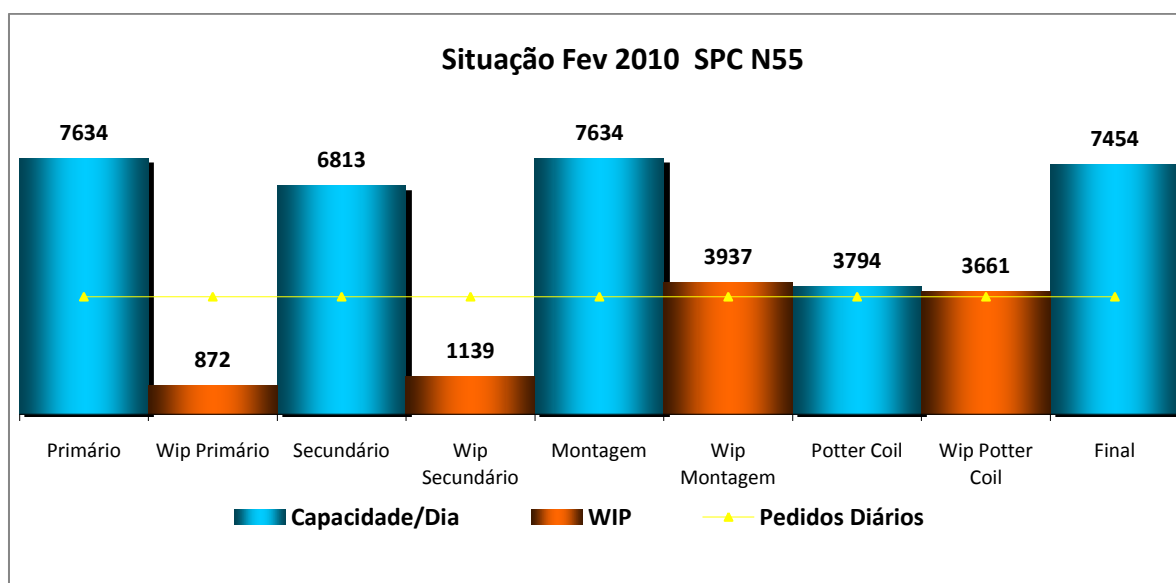
- ROTHER, M. & SHOOK, J. (1999). *Learning To See*. Cambridge, MA, USA: The *Lean* Enterprise Institute.
- SCHONBERGER, R. J. (1982). *Japanese manufacturing techniques: Nine hidden lessons in simplicity*, New York, USA: The Free Press.
- SHINGO, S. (1989). *A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint*. Cambridge: Productivity Press.
- SMALLEY, A. (2004). *Creating Level Pull*. Cambridge, MA, USA: The *Lean* Enterprise Institute.
- SMITH, Debra A. (2000). *The measurements nightmare: how the theory of constraints can resolve conflicting strategies, policies, and measures*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- SPECTOR, R. E. (2006). How Constraints Management enhances *Lean* and Six Sigma. *Supply Chain Management Review*. January/February 2006 42-47.
- SPROULL, B. (2009). *The Ultimate Improvement Cycle: Maximizing Profits through the Integration of Lean, Six Sigma and the Theory of Constraints*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- SRINIVASAN, M. M., JONES, D. & MILLER, A. (2004). Applying theory of constraints principles and *Lean* thinking at the marine corps maintenance center. *Defense Acquisition Review Journal*, 134-145.
- STAMM, M. L., NEITZERT, T. R. & SINGH, D.P. (2009). TQM, TPM, TOC, *Lean* and Six Sigma-Evolution of Manufacturing methodologies under the paradigm shift from Taylorism Fordism to Toyotism? Consultado a 6 de Fevereiro, 2010 em <http://www.euroma2009.org/Proceedings/Papers/FCXST-09068951-1548343-1.pdf>.
- TAVARES, L. V., OLIVEIRA, R., THEMIDO, I., & CORREIA, F. (1996). *Investigação operacional*. Lisboa: McGraw-Hill de Portugal.
- TAWAGA, J. T. (1999). *Implementing Theory of Constraints in a Job Environment*. MIT, Department of Mechanical Engineering.
- TENERA, A. (2006). *Contribuição para a Melhoria da Gestão da Incerteza na Duração dos Projectos através da Teoria das Restrições*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT)/ Universidade Nova de Lisboa (UNL). Lisboa, Portugal
- TENERA, A. (2007). *Programação de Operações em Sistemas Produtivos (Flow Shop e JobShop): Elementos complementares de apoio*, não publicado.
- TENERA, A. & ABREU, A. (2007). "A Teoria das Restrições na Melhoria da Gestão das Redes de Produção em Ambientes Colaborativos". 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica 2007 (CIBIM8), Cusco, Peru. (ISBN 978-9972-2885-3-1)
- WOEPPEL, M. (2009). How to Double Your Bottom Line with TLS. Consultado a 3 de Setembro, 2009 em <http://pinnacle-strategies.com/blog/2009/08/how-to-double-your-profits-with-tls-theory-of-constraints-Lean-six-sigma/>
- WOMACK, J. P., JONES, D. T. & ROOS, D. (1990) *The machine that changed the world*. New York: Harper-Collins.

WOMACK, J. P., JONES, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York, USA: Simon & Schuster.

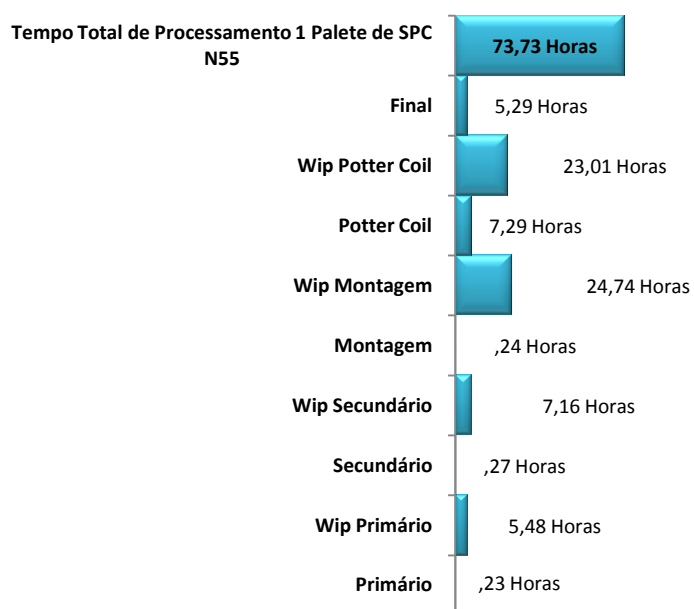
YOUNGMAN, K. J. (2009). A guide to implementing the Theory of Constraints (TOC). Consultado a 10 de Agosto de 2009 em: [www.dbrmfg.co.nz/](http://www.dbrmfg.co.nz/).

## Anexos

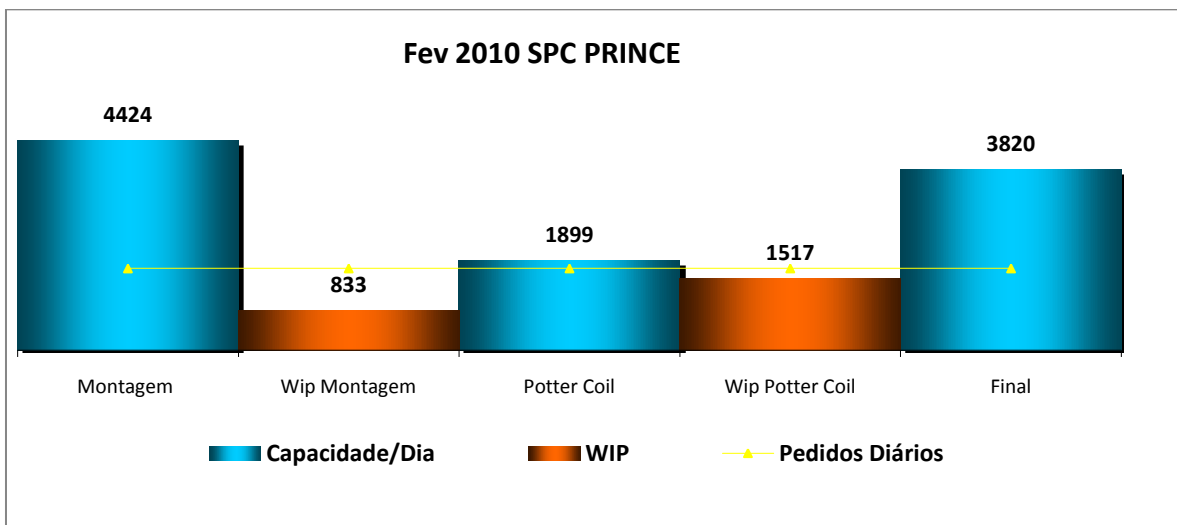
## Anexo I



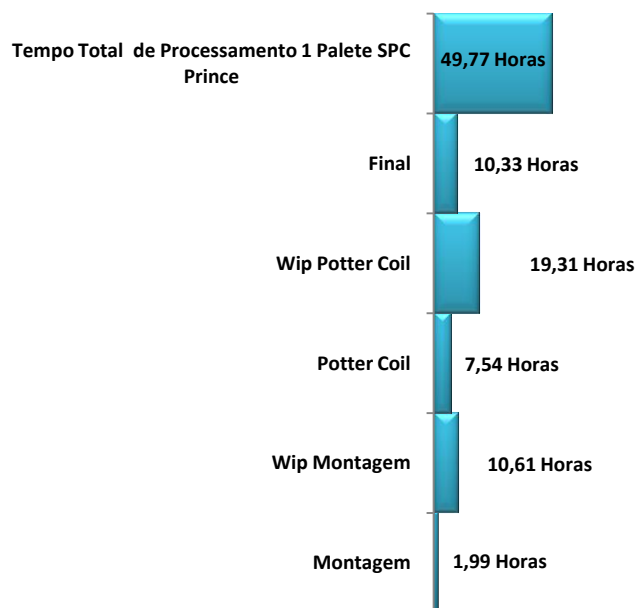
**Figura A.I.0.1- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC N55**



**Figura A.I.0.2- Tempo de Processamento de SPC N55**

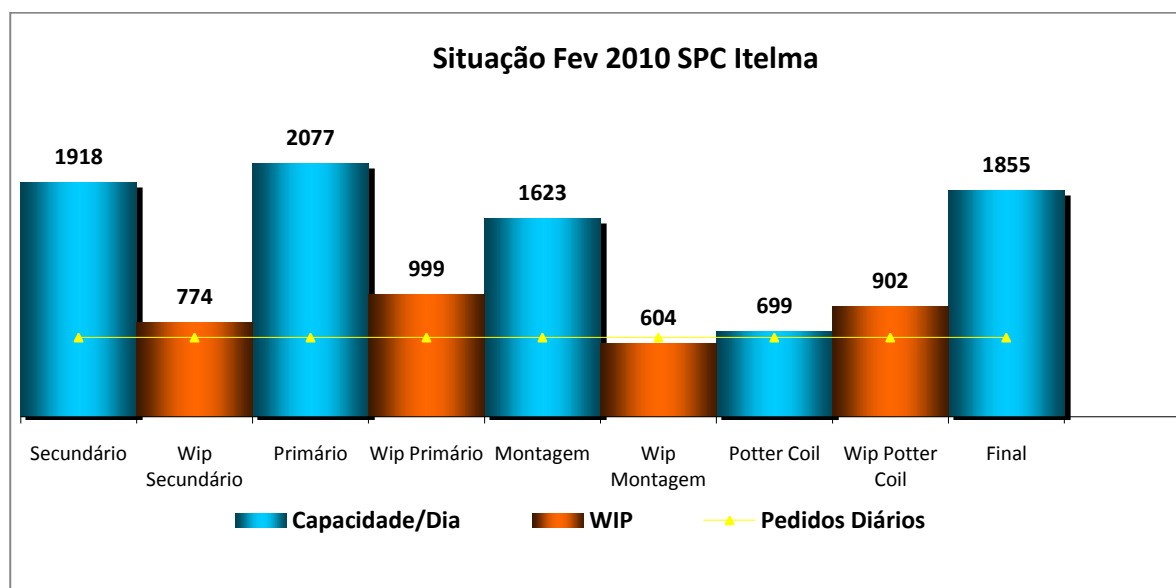


**Figura A.I.0.3-Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC Prince**

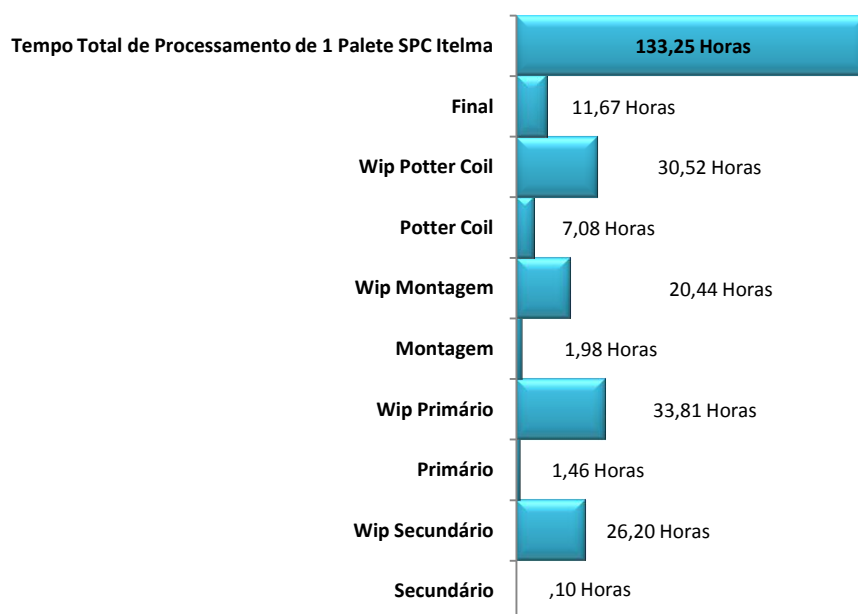


**Figura A.I.0.4-Tempo de Processamento de SPC Prince**

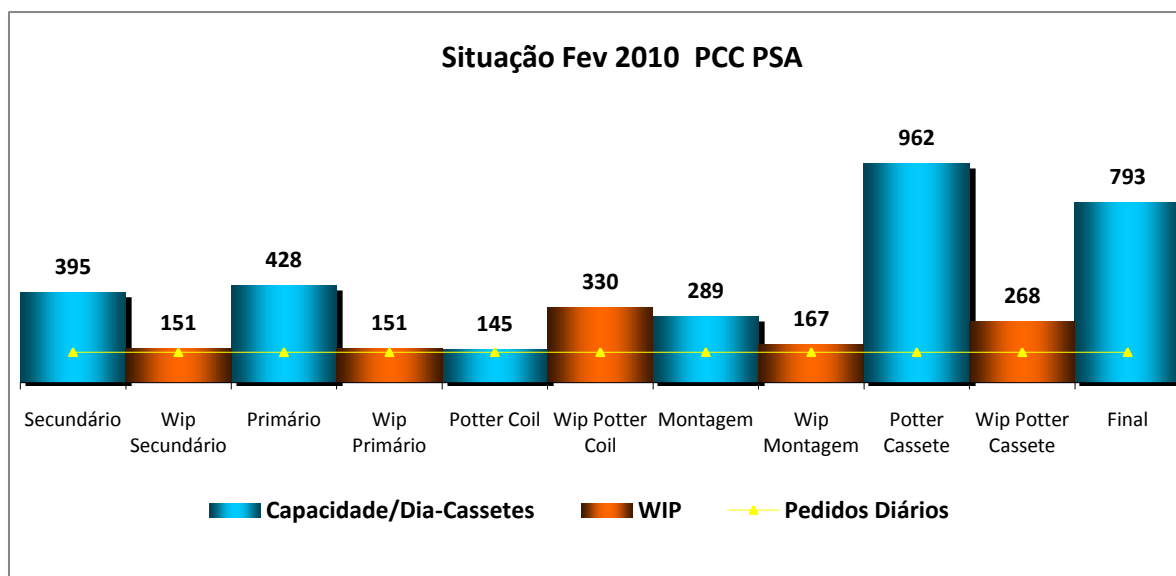




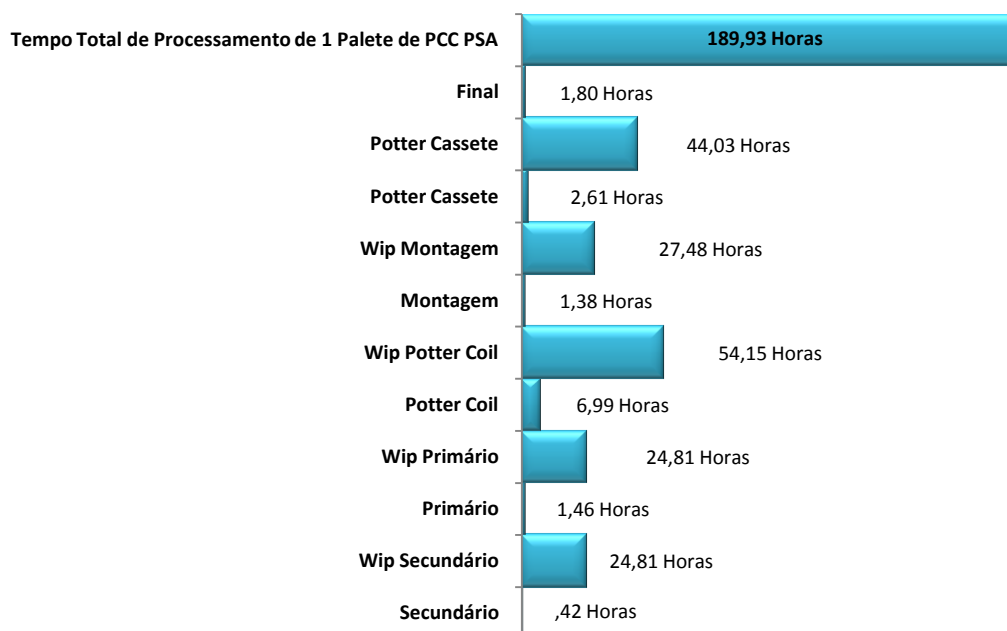
**Figura A.I.0.5- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC Itelma**



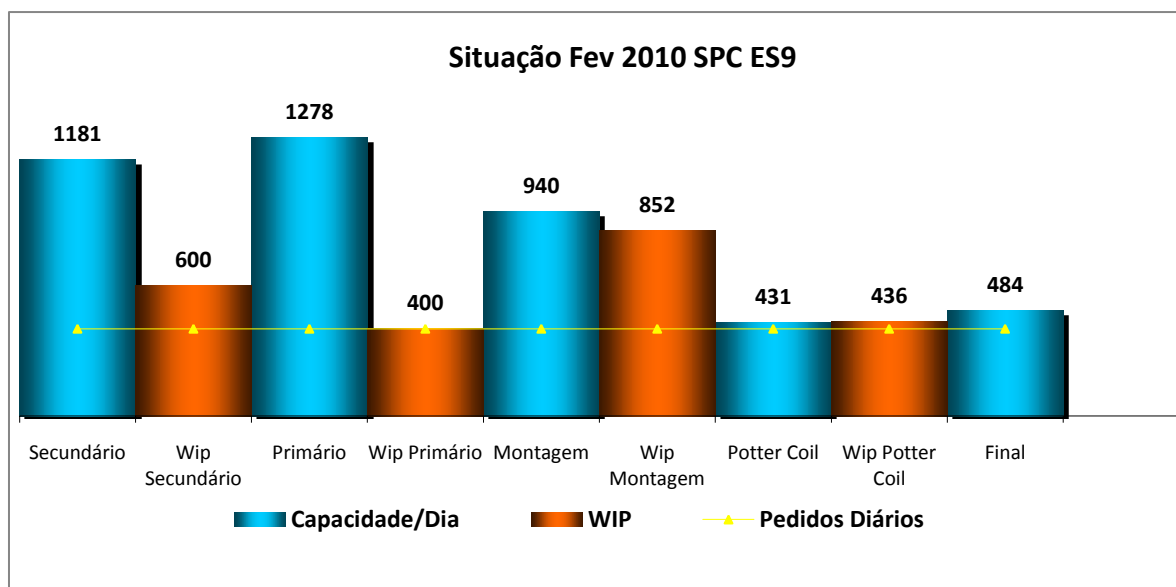
**Figura A.I.0.6- Tempo de Processamento de SPC Itelma**



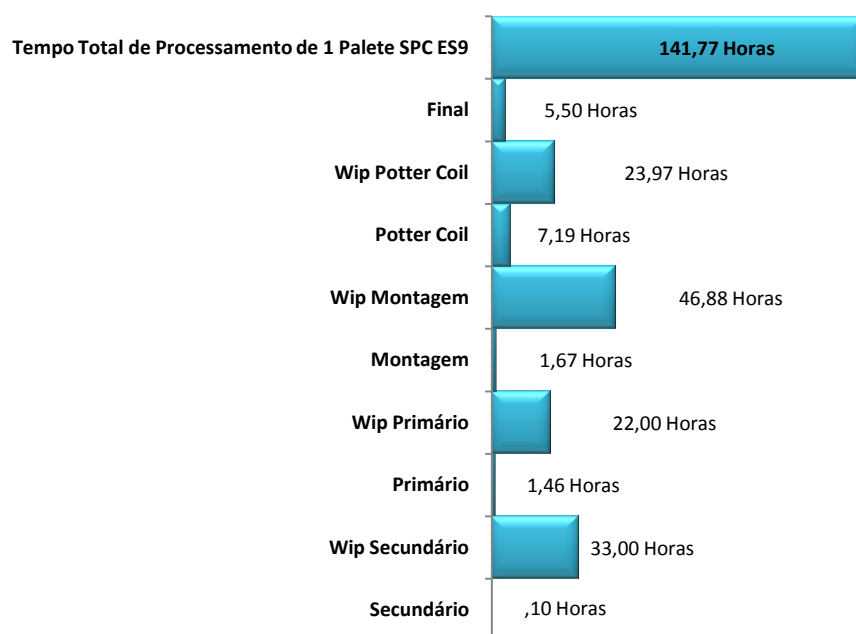
**Figura A.I.0.7- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de PCC PSA**



**Figura A.I.0.8- Tempo de Processamento de PCC PSA**



**Figura A.I.0.9- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC ES9**



**Figura A.I.0.10- Tempo de Processamento de SPC ES9**

## Anexo II

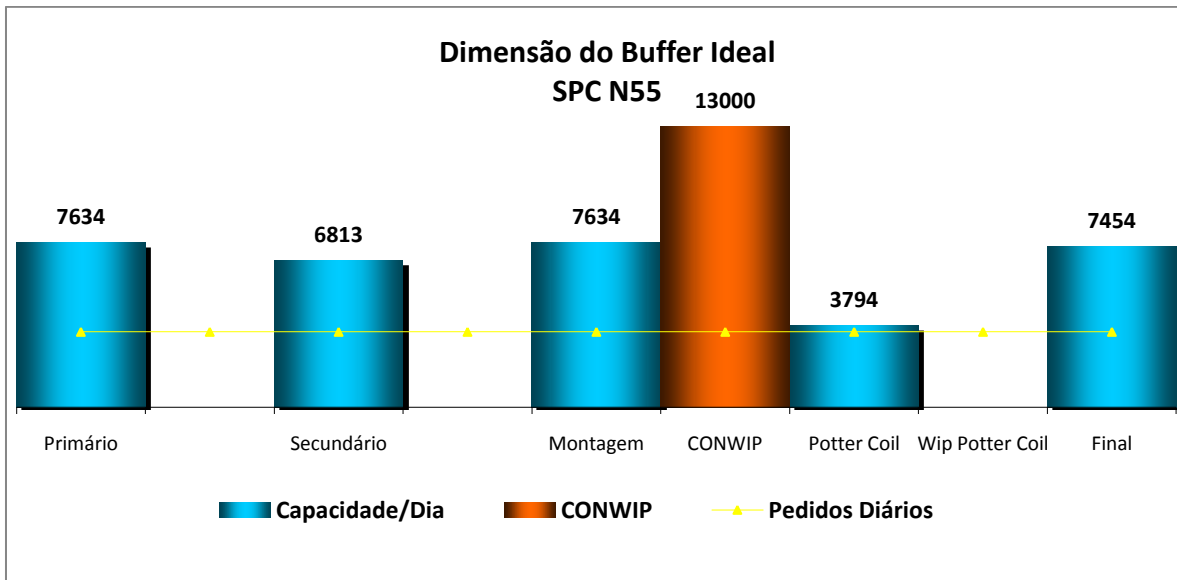


Figura A.II.0.1- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC N55 com DBR

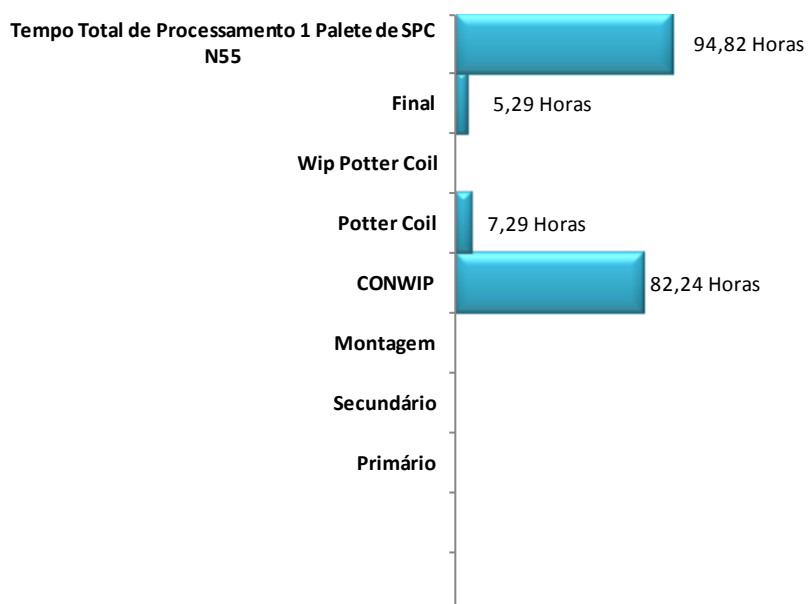
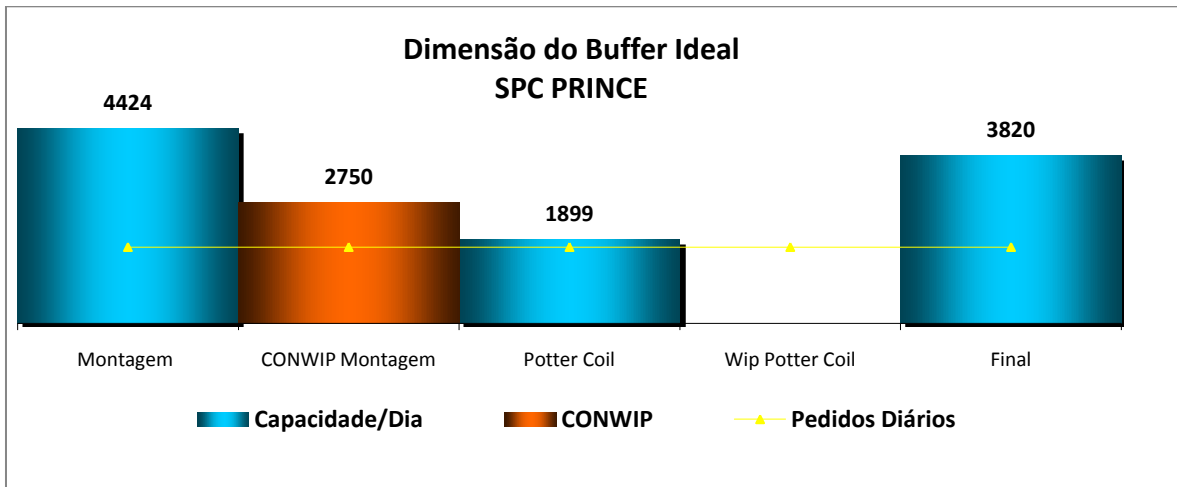
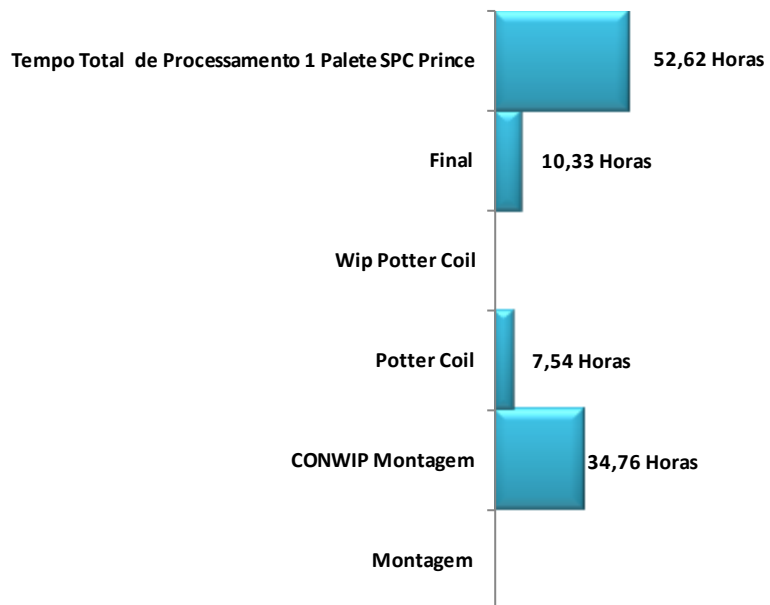


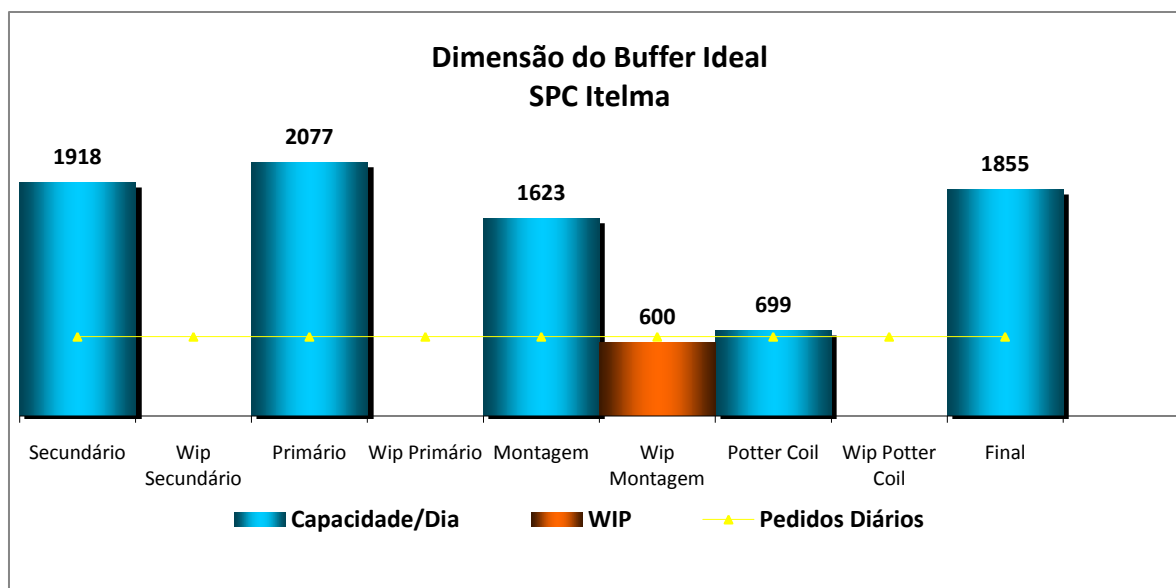
Figura A.II.0.2-Tempo de Processamento de SPC N55 com DBR



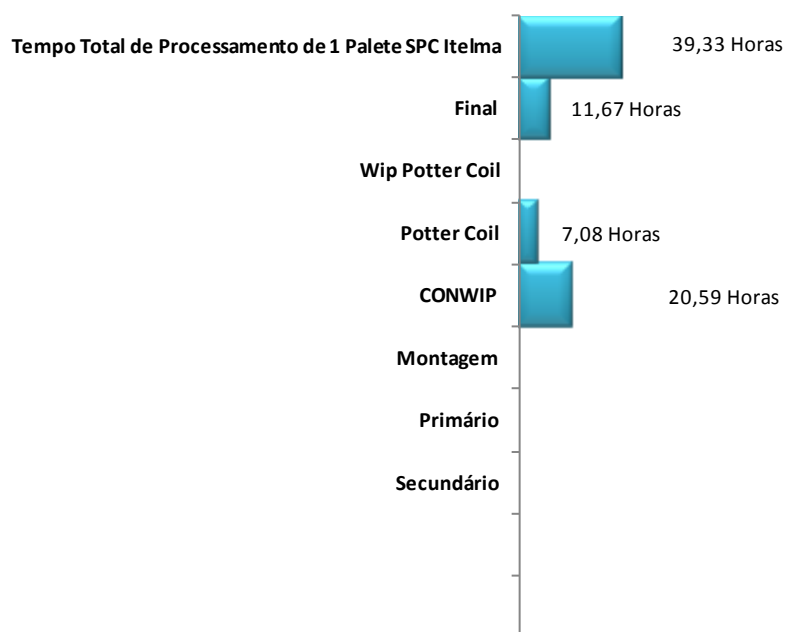
**Figura A.II.0.3- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC Prince com DBR**



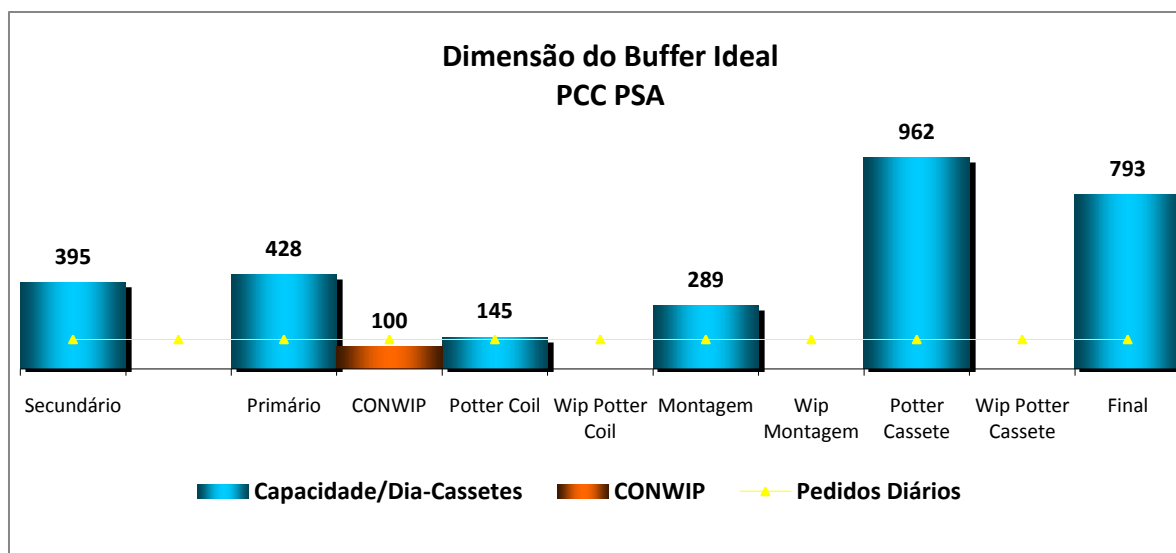
**Figura A.II.0.4-Tempo de Processamento de SPC Prince com DBR**



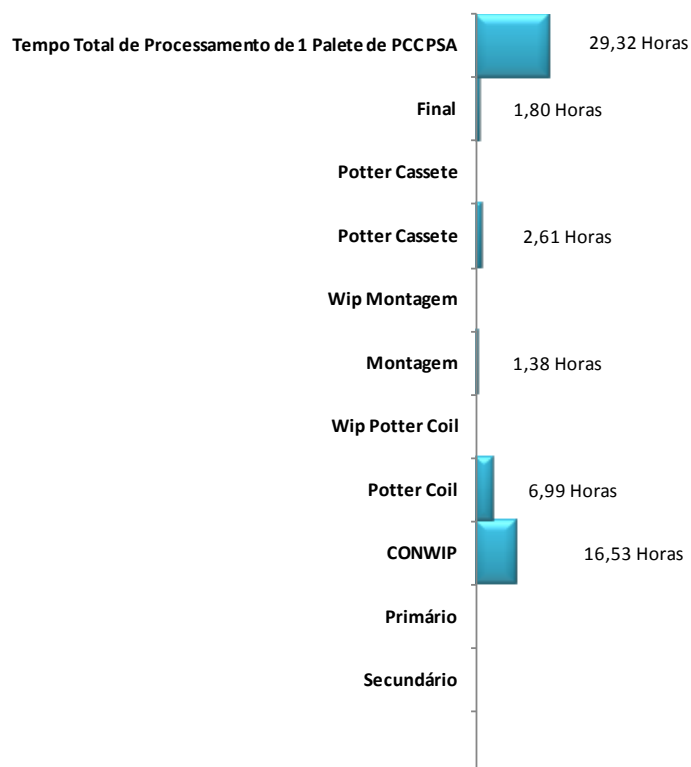
**Figura A.II.0.5- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC Itelma com DBR**



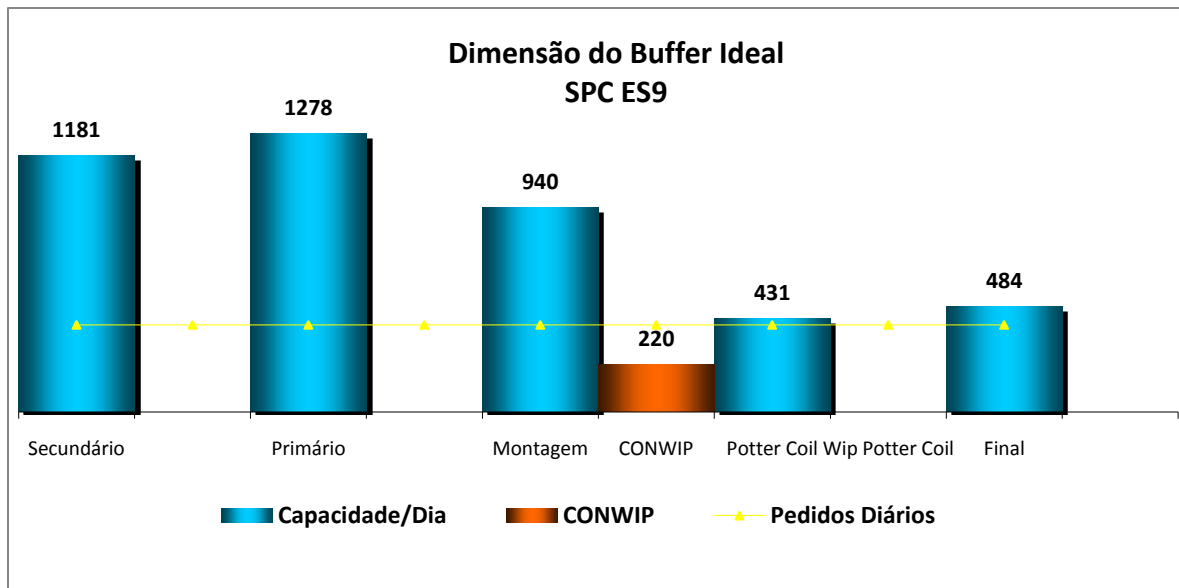
**Figura A.II.0.6- Tempo de Processamento de SPC Itelma com DBR**



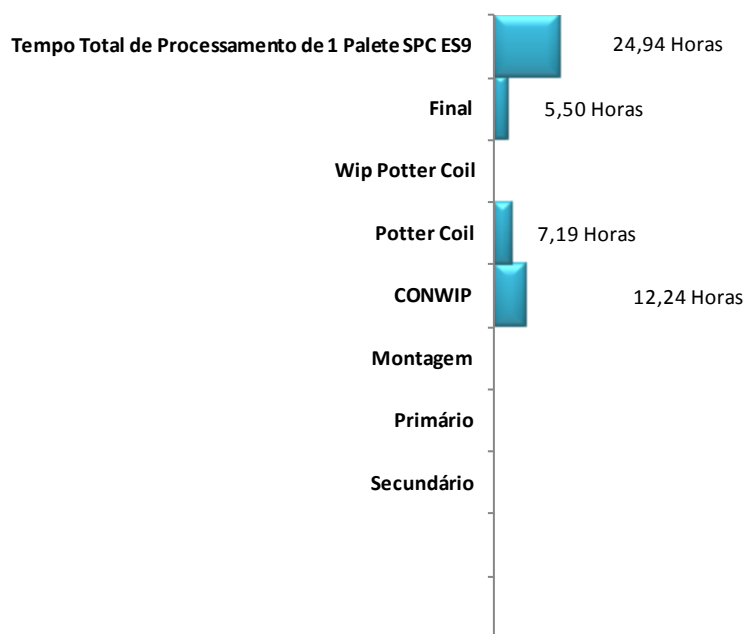
**Figura A.II.0.7- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de PCC PSA com DBR**



**Figura A.II.0.8- Tempo de Processamento de PCC PSA com DBR**



**Figura A.II.0.9- Capacidade Produtiva e WIP's de Segmentos de SPC ES9 com DBR**



**Figura A.II.0.10- Tempo de Processamento de SPC ES9 com DBR**